

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA



**RECUPERACIÓN DE SÓLIDOS DEL AGUA DE COLA POR
COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE
HISTAMINA**

Presentado por:

CLAUDIA CRISTINA NÚÑEZ ÁLVAREZ

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO PESQUERO**

LIMA-PERÚ

2014

DEDICATORIA

“A Dios por permitir que fuera posible la culminación del presente trabajo de investigación. A mi hijo Carlos Rodrigo, a mis padres Carlos y Hortensia quienes han estado conmigo en todo momento, brindándome su cariño e invaluable apoyo y enseñando que todos los días son de superación, y esfuerzo, gracias por su confianza y paciencia depositada en el camino de mi formación profesional. A mis hermanas Carla y Andrea, para que sigan por la senda del esfuerzo y el estudio. A todos mis familiares y amistades por ser parte de mi vida”.

AGRADECIMIENTOS

Al M.Sc.David Roldán Acero, Patrocinador de la presente tesis, por el asesoramiento brindando y su invaluable apoyo para la realización de este trabajo, gracias por su consejos.

Al Blgo. Juan Juscamaita Morales, Co-Patrocinador de la presente tesis, por sus consejos y constante invaluable apoyo durante la realización del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Cesar Pizardi D. por los consejos brindados y la revisión de la tesis para una mejor presentación.

A mis padres, por sus enseñanzas, su apoyo en todo momento y por ayudarme a ser cada día mejor persona.

A Empresa PESQUERA HAYDUK S.A. y al Ing.Christopher Osorio L. por la entrega de las muestras de agua de cola y el equipo de jarras para la realización del presente trabajo.

Al laboratorio de Recursos y medio ambiente de la Facultad de Ingeniería Agrícola y en especial a la Ing. Ivonne Lara por su apoyo en las lecturas de Turbidez.

A los Técnicos de laboratorio Sr.Eberth Vicente A. y Sr. Ernesto Apéstegui L., por el apoyo en la realización del presente trabajo.

Al señor Jesús Huarcaya, por su apoyo en los préstamos de las tesis de la BAN.

A las practicantes Liz Lihua, Samantha y Elizabeth por su ayuda oportuna cuando el trabajo se puso fuerte.

A todas las personas que de alguna u otra forma estuvieron conmigo en los momentos que los necesite, a mis compañeros de laboratorio.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición química aproximada del agua de bombeo.....	9
Cuadro 2.	Composición química aproximada de la sanguaza	10
Cuadro 3.	Composición química del agua de cola.....	11
Cuadro 4.	Composición de solubles e insolubles en el agua de cola.....	12
Cuadro 5.	Usos de la <i>Moringa oleífera</i>	36
Cuadro 6.	Relación de tratamientos con los compuestos seleccionados en el proceso de coagulación y floculación del agua de cola	49
Cuadro 7.	Relación de Tratamientos para determinar el orden de los compuestos en el proceso de coagulación y floculación.....	51
Cuadro 8.	Relación de tratamientos para determinar las cantidades óptimas de coagulante y floculante en el tratamiento del agua de cola.....	52
Cuadro 9.	Relación de tratamientos para la determinación de la velocidadde agitaciónen la mezcla rápida.....	54
Cuadro 10.	Composición Físico Química y Microbiológica de la muestra de agua de cola de anchoveta (<i>Engraulisringens</i>)	57
Cuadro 11.	Resultados organolépticos del tratamiento del agua de cola con diferentescompuestos (coagulantes/floculantes).....	59

Cuadro 12.	Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando el Compuesto C a diferentes cantidades.....	61
Cuadro 13.	Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola tratada utilizando el compuesto C a diferentes cantidades	61
Cuadro 14.	Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando el Compuesto H a diferentes cantidades	64
Cuadro 15.	Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del aguade cola tratada utilizando elCompuesto H a diferentes cantidades	65
Cuadro 16.	Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando la mezcla del Compuesto H y el Compuesto C (H/C)	68
Cuadro 17.	Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del aguade cola tratada utilizando la mezcla del Compuesto H y el Compuesto C (H/C).....	69
Cuadro 18.	Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando la mezcladel Compuesto C y el Compuesto H (C/H)	72
Cuadro 19.	Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola utilizando la mezcla del Compuesto C y Compuesto H (C/H)	72

Cuadro 20.	Características del líquido residual utilizando diferentes cantidades del Compuesto C (coagulante) con diferentes cantidades del Compuesto H (floculante)	76
Cuadro 21.	Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola utilizando diferentes cantidades del Compuesto C (coagulante) con diferentes cantidades del Compuesto H (floculante)	77
Cuadro 22.	Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada a una misma dosis del coagulante C y floculante H a diferentes velocidades de mezcla rápida.....	81
Cuadro 23.	Características del líquido residual de agua de cola tratada con coagulante/floculante seleccionado en dosis óptima, obtenida por decantación natural.....	83
Cuadro 24.	Características del líquido residual del agua de cola tratada con el coagulante C y floculante H a la dosis adecuada, centrifugado	85
Cuadro 25.	Composición química utilizada para el balance de materia en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola	86
Cuadro 26.	Propuesta de análisis organoléptico de floc en tratamiento de agua de cola con coagulantes/floculantes naturales.....	89

Cuadro 27.	Comparación del contenido de aminoácidos (%) de los sólidos recuperados del agua de cola tratada, la harina de pescado y los requerimientos mínimos en la dieta de salmónidos.....	91
Cuadro 28.	Contenido de metales en el líquido residual del agua de cola tratada	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Balance de materia de la fabricación de harina y aceite de pescado	18
Figura 2.	Coagulación por adsorción	26
Figura 3.	Coagulación por barrido	27
Figura 4.	Diagrama de remoción de turbiedad	28
Figura 5.	Árbol <i>Moringa oleifera</i> . Semilla de <i>Moringa oleifera</i>	35
Figura 6.	Comparación entre muestras de agua cruda y tratada con <i>Moringa oleifera</i>	36
Figura 7.	Metodología experimental para la recuperación de sólidos en el tratamiento por coagulación/floculación del agua de cola.....	47
Figura 8.	Equipo de jarras LovibondWet	47
Figura 9.	Diseño experimental para evaluar y seleccionar dos compuestos en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.....	49
Figura 10.	Diseño experimental para evaluación de los compuestos seleccionados	50
Figura 11.	Diseño Experimental para la determinación del comportamiento de los compuestos C y H, en el proceso de coagulación/floculación	50
Figura 12.	Diseño Experimental para determinar las cantidades de coagulante y Floculante en el tratamiento del agua de cola.....	52

Figura 13.	Diseño experimental para determinar la velocidad de agitación de la mezclarápida con el coagulante	53
Figura14.	Evaluación de decantación natural y centrifugación en separación delíquido residual del agua de cola tratada con coagulante y floculante seleccionado.....	54
Figura 15.	Esquema del Balance de Materia en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola	55
Figura 16.	Recepción de agua de cola envasada	56
Figura 17.	Muestra de agua de cola	56
Figura 18.	Precipitado de sólidos en el agua de cola tratada utilizando diferentescoagulantes/floculantes	60
Figura 19.	Precipitado de sólidos en el agua de cola tratada utilizando los coagulantes/floculantes C y H	60
Figura 20.	Evaluación de diferentes cantidades del Compuesto C en el tratamiento de agua de cola.....	62
Figura 21.	Precipitado en el agua de cola tratada empleando diferentes cantidades deCompuesto C	63
Figura 22.	Relación de las cantidades del Compuesto C y pH en el agua de cola tratada	63
Figura 23.	Relación de la cantidad del Compuesto C con la remoción de la turbiedad y conductividad eléctrica en el agua tratada.....	64

Figura24.	Precipitado de sólidos en el agua de cola tratada utilizando diferentes cantidades del Compuesto H	66
Figura 25.	Precipitación de sólidos en el agua de cola tratada utilizando 5 ml del compuesto H	66
Figura 26.	Relación del porcentaje de remoción de turbiedad con la cantidad de Compuesto H en el agua de cola tratada y valores pH	67
Figura 27.	Relación del porcentaje de remoción de turbiedad con la cantidad del Compuesto H en el agua de cola tratada y conductividad eléctrica	67
Figura 28.	Evaluación de la mezcla del Compuesto H con diferentes cantidades del Compuesto C en el tratamiento de agua de cola.....	69
Figura 29.	Porcentaje de remoción de turbidez vs mezcla de 1 ml del Compuesto H con diferentes cantidades del Compuesto C en el agua de cola tratada.....	70
Figura30.	Valores de pH en la mezcla de 1ml del Compuesto H y diferentes cantidades de Compuesto C.....	70
Figura 31.	Valores de conductividad eléctrica en la mezcla de 1 ml del Compuesto H con diferentes cantidades del Compuesto C	71
Figura 32.	Precipitación de sólidos del agua de cola tratada con mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto C	71

Figura 33.	Evaluación de la mezcla del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H en el tratamiento de agua de cola.....	72
Figura 34.	Porcentaje de remoción de turbiedad del agua de cola en la mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H .	73
Figura 35.	Valores de pH del agua de cola en la mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H.....	74
Figura 36.	Valores de C.E. del agua de cola en la mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H.....	74
Figura 37.	Precipitado de agua de cola usando 1ml del compuesto C con 10 ml Compuesto H.....	75
Figura 38.	Remoción de turbiedad (%) a diferentes cantidades de Compuesto C y Compuesto H en el tratamiento de agua de cola.....	78
Figura 39.	Valores de C.E. para diferentes dosis del compuesto C y H.....	79
Figura 40.	Relación entre las cantidades de Compuesto C y el Compuesto H con los niveles de turbiedad obtenidos de los mejores tratamientos	79
Figura 41.	Precipitación de sólidos en el agua de cola tratada utilizando el coagulanteC y floculante H a la dosis óptima de 5:10.....	80
Figura 42.	Medidas de turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada con el coagulante C y floculante H a la dosis adecuada vs velocidades de mezcla rápida	81

Figura 43.	Precipitación de sólidos del agua de cola tratada utilizando el procedimiento de la decantación natural.....	84
Figura 44.	Porcentaje de remoción de turbidez vs pH y Conductividad Eléctrica en el agua de cola tratada por decantación natural	84
Figura 45.	Líquido residual centrifugado del agua de cola tratada con el coagulante C y floculante H a la dosis adecuada.....	85
Figura 46.	Fase, lodo recuperado	86
Figura 47.	Fase, líquido residual	86
Figura 48.	Balance de materia del proceso de coagulación/floculación del agua de cola	87
Figura 49.	Sólidos recuperados (lodo recuperado con 10% de humedad)	91
Figura 50.	Comparación de aminoácidos en los sólidos recuperados del agua de cola, harina de pescado con los requerimientos nutricionales en los salmónidos (Estadio cría).	94

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 PRODUCCIÓN DE HARINA Y ACEITE DE PESCADO	3
2.2 PRINCIPALES EFLUENTES GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE HARINA Y ACEITE DE PESCADO.....	8
2.2.1 Agua de Bombeo	8
2.2.2 Sanguaza.....	9
2.2.3 Agua de cola.....	10
2.3 TRATAMIENTO DEL AGUA DE COLA EN LA PRODUCCIÓN DE HARINA Y ACEITE DE PESCADO	16
2.4 PROCESO FÍSICO-QUÍMICO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	18
2.4.1 Mecanismos de la coagulación	19
2.4.2 Factores que influyen en la coagulación.....	21
2.4.3 Etapas o fases de la coagulación	24
2.4.4 Tipos de coagulación	25
2.4.5 Remoción de turbiedad.....	27
2.5 MECANISMOS DE LA FLOCULACIÓN.....	28
2.5.1. Tipos de floculación.....	29
2.5.2 Parámetros de la floculación.....	30
2.5.3 Prueba de jarras.....	30
2.6 TIPOS DE COAGULANTES Y FLOCULANTES	30
2.6.1 Coagulantes artificiales.....	31
2.6.2 Coagulantes naturales.....	32

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.....	42
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	42
3.2.1 Materia prima.....	42
3.2.2 Agentes coagulantes y floculantes	42
3.2.3 Equipos	43
3.2.4 Materiales.....	43
3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	43
3.3.1 Análisis físicos y químicos.....	43
3.3.2 Análisis microbiológicos.....	45
3.3.3 Evaluación organoléptica en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.....	46
3.3.4 Evaluación estadística	46
3.4 PARTE EXPERIMENTAL.....	46
3.4.1 Evaluación de coagulantes/floculantes naturales	48
3.4.2 Determinación del comportamiento de los compuestos C y H en el proceso de coagulación/floculación de agua de cola.....	50
3.4.3 Determinación de las cantidades óptimas de los Compuestos C y H en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.....	51
3.4.4 Determinación de la velocidad de mezcla rápida en el proceso de coagulación y floculación del agua de cola.....	53
3.4.5 Evaluación de la decantación natural y uso de la centrifugación en el líquido residual del agua de cola tratada con coagulante/floculante seleccionados.....	54
3.5 BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN.....	55

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1 MATERIA PRIMA.....	56
4.2 PARTE EXPERIMENTAL.....	59
4.2.1 Evaluación de coagulantes/floculantes naturales.....	59
4.2.2 Determinación del comportamiento de los compuestos C y H en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.....	68
4.2.3 Determinación de las cantidades óptimas de los compuestos C y H en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.....	76
4.2.4 Determinación de la velocidad de mezcla rápida en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.....	80
4.2.5 Evaluación de la decantación natural y uso de centrifugación en el líquido residual del agua de cola tratada con coagulantes/floculantes seleccionados	83
4.3 BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN	86
4.4 CARACTERIZACIÓN DEL SÓLIDO RECUPERADO (LODO 10% DE HUMEDAD) Y LÍQUIDO RESIDUAL OBTENIDO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA	90
V. CONCLUSIONES	96
VI. RECOMENDACIONES.....	98
VII. BIBLIOGRAFÍA	
99 VIII. ANEXOS	
117.....	

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo desarrollar un procedimiento de recuperación de sólidos del agua de cola, con bajos contenidos de histamina, utilizando la técnica fisicoquímica de coagulación-floculación y caracterizar el lodo recuperado, el líquido residual y los sólidos recuperados (lodo seco). Se demostró que fue posible la recuperación de sólidos del agua de cola utilizando la técnica fisicoquímica de coagulación-floculación con bajos contenidos de histamina. La reducción del contenido de histamina en el lodo recuperado fue de 70.6 % respecto al contenido inicial en el agua de cola. El empleo de 5 ml del Compuesto C (coagulante) y 10 ml del Compuesto H (floculante), permitió reducir la turbidez del líquido residual del agua de cola separada por decantación natural de 33,838 NTU hasta 49.1 NTU, ello representó una reducción de 99.85 %. Para el caso de separación con centrífuga, la reducción fue de 99.7%. La relación óptima del coagulante: floculante: agua de cola, en el proceso fisicoquímico de floculación, fue de 1:2:20. Según el balance de materia, los sólidos en el lodo recuperado fueron de 38.63 % de los sólidos totales presentes en el agua de cola, el remanente de los sólidos (61.37%) permaneció en el líquido residual. No se encontró presencia de magnesio, plomo, arsénico y cromo en el lodo recuperado. Así mismo, el análisis microbiológico de *E. coli* y *Salmonella* fue negativo. En el líquido residual no se encontró presencia de plomo, cromo, arsénico, mercurio y aluminio; el contenido de cadmio fue 0.08 ppm y 8,871.5 ppm de cloruros y el análisis microbiológico de *E. coli* y *Salmonella* fue negativo. Adicionalmente, el líquido residual presentó 38 000 mg/L de DBO₅ y 58 764 mg/L de DQO y deben ser tratados para cumplir con los límites permisibles o rangos de calidad reglamentados por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. El contenido de proteína en los sólidos recuperados fue similar al que presenta la harina de pescado de tipo FAQ. El aminograma realizado en los sólidos recuperados del agua de cola indicó que el triptófano fue el aminoácido limitante, por lo cual es recomendable que los sólidos recuperados se reintegren al proceso productivo de harina de pescado.

“Palabras Clave”: Coagulación, Floculación, agua de cola, coagulantes naturales, Biopolímeros, Test de jarras

ABSTRACT

The present research aimed to develop a method of recovering stickwater solids, with low levels of histamine, using coagulation-flocculation and characterize the sludge recovered, residual liquid and the recovered solids (dry sludge). It was demonstrated that it was possible to recover stickwater solids using coagulation-flocculation technique with low histamine content. The reduction of histamine in the recovered slurry was 70.6% of initial content in the stickwater. The use of 5 ml of Compound C (coagulant) and 10 ml of Compound H (flocculant), reduced the turbidity of residual liquid separated by natural decantation of 33.838 to 49.1 NTU NTU, this represents a reduction of 99.85%. In the case of centrifugal separation, the reduction was 99.7%. The optimum ratio of the coagulant: flocculant: tail water in the flocculation process, was 1: 2: 20. According to the material balance, the solids in the recovered sludge were 38.63% of the total solids present in the stickwater, the remaining solids (61.37%) remained in the residual liquid. Nothing magnesium, lead, arsenic and chromium were found in the recovered sludge. Likewise, the microbiological analysis of *E. coli* and Salmonella was negative. In the residual liquid lead, chromium, arsenic, mercury and aluminum was not found; the cadmium content was 0.08 ppm and 8871.5 ppm of chlorides and microbiological analysis of *E. coli* and Salmonella was negative. Additionally, the residual liquid presented BOD₅38 000 mg / L and DQO 58 764 mg / L and must be treated to meet the permissible limits or ranges of quality regulated by the Ministry of Environment and Natural Resources. The protein content in the dry sludge solid was similar to that presented fishmeal type FAQ. The aminogram performed on the dry sludge indicated that tryptophan was the limiting amino acid, so it is advisable to be reintegrated into the fish meal production.

"Keywords": Coagulation, Flocculation stickwater, natural coagulants, Biopolymers, Team jars.

I. INTRODUCCIÓN

El agua de cola generada en la producción de harina y aceite de pescado se caracteriza por presentar agua, sólidos solubles, sólidos insolubles, vitaminas y minerales, grasas y residuos provenientes de la descomposición proteica. A nivel industrial se concentra por evaporación, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido su tratamiento mediante el uso de evaporadores de flujo ascendente o flujo descendente instalados en la planta de agua de cola, lo que implica una alta inversión y altos costos, por consumo de energía; a ello se debe sumar la cantidad de compuestos derivados de la descomposición de las proteínas que se concentran y que al ser incorporadas a las tortas, para producir harina, pueden afectar la calidad de éste, de allí que es importante la aplicación de tecnologías limpias para su tratamiento; para ello existe una gran variedad de procedimientos de tipo físicos, químicos y biológicos, dentro de los procesos químicos más utilizados se encuentra el uso de coagulantes/floculantes.

Se entiende por 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).

La cantidad y calidad de los componentes del agua de cola dependen de la frescura del pescado utilizado como materia prima en la producción de harina de pescado. A menor frescura mayor contenido de histamina. La histamina es generada por acción microbiana por descarboxilación de la histidina, es soluble en agua y considerada como indicador para clasificar las harinas de pescado de buena calidad.

Si bien la adición de concentrados de agua de cola permite obtener un mejor rendimiento de producción harina de pescado, se discute la procedencia del agua de cola y su contenido de histamina, compuesto que al ser soluble en agua es acumulada en el agua de cola. Es

por ello que el presente estudio busca recuperar los sólidos del agua de cola con bajos contenidos de histamina mediante el uso de floclulantes y un líquido residual que tenga la mayor cantidad de histamina.

Los objetivos propuestos del presente trabajo de investigación fueron:

- Desarrollar un método práctico para separar los sólidos presentes en el agua de cola aplicando la técnica física química de floclulación.
- Caracterizar química y microbiológicamente las fases separadas.
- Desarrollar un balance de materia en el proceso de tratamiento de agua de cola.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

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 *et al.*, 1954).

La harina de pescado se define como el producto que se obtiene secando y moliendo pescado entero o partes de él, de varias especies, al que se le extrae la grasa cuanto fuere necesario (Coloma, 1980).

Por lo tanto, 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 (Landeo y Ruiz, 1996).

2.1.1 SISTEMAS DE CONSERVACIÓN DEL PESCADO

El pescado empieza a deteriorarse a bordo de la embarcación de pesca, iniciándose así el proceso de pérdida de rendimiento. Para cuando la pesca ha sido procesada, no solo se ha perdido producto valioso sino que la calidad del pescado que se va a procesar también se ha reducido y la carga orgánica en el efluente ha aumentado (CONAM, 1998).

Las bacterias existentes en el tracto intestinal y las agallas son la principal causa de deterioro del pescado. La clave para retardar este proceso es minimizar la contaminación bacteriana y bajar la temperatura. Se debe considerar que la degradación aumenta cuanto mayor sea la temperatura de almacenamiento y cuanto mayor tiempo pase. También se

debería minimizar la compresión del pescado en las bodegas para que sus enzimas no se liberen y digieran las proteínas (CONAM, 1998).

Reduciendo la temperatura de almacenamiento en solo 5 a 6°C se reduce la velocidad de las reacciones bioquímicas que causan el deterioro del pescado en un 50% y se extiende el tiempo de almacenamiento de la materia prima en un 100%.El pescado fresco perderá mucho menos sólidos hacia el agua de bombeo que el pescado malogrado.

La preservación química se fundamenta en el intento de retardar o impedir la acción bacteriana mediante la alteración de las condiciones químicas del medio. Sin embargo, la alteración química no debe alterar también la condición de la materia prima que se está tratando de preservar. Entre los preservantes ensayados con mejores resultados en el Perú están Salmex, Ecoprol y ácido acético.

2.1.2 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 y Rosillo, 2001).Tradicionalmente, este proceso se realiza mediante bombas centrifugas, las cuales dañan el pescado por el rozamiento. Para minimizar el daño se mantiene una proporción agua-pescado de 2 (2.5):1 (Landeo y Ruiz, 1996).

La mezcla agua-pescado es recibida en planta por los desagüadores: 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 desagüado 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 (Landeo y Ruiz, 1996).

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.

c. Cocinado

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 (Landeo y Ruiz, 1996). 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.

En esta etapa se constituyen dos fracciones: una acuosa, formada por la constitución del pescado, los sólidos en suspensión y el aceite suspendido de las células grasas por acción del calor. La otra fracción sólida en su mayor parte constituida por proteína o pulpa (Grados, 1996).

d. Desagiado

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 y 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 comprimida por los tornillos, escurriendo el licor a través de las rejillas y la torta por el extremo (Landeo y Ruiz, 1996).

f. Separación de sólidos y aceite

El licor de prensa es llevado a una centrífuga horizontal (decanter) 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 y Rozillo, 2001).

La fracción acuosa restante, el licor de separadora, tiene aún altos 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 y Ruiz, 1996).

g. Secado

El agua de cola concentrado, la torta de prensa y la torta de separadora son enviados 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

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

h. Molienda

La harina que sale del secador es pasada por un molino de martillos locos 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).

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 (Zaldívar, 1994 a).

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).

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). 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 PRINCIPALES EFLUENTES GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE HARINA Y ACEITE DE PESCADO

2.2.1 AGUA DE BOMBEO

El agua de bombeo es el producto líquido del agua de mar empleada en el transporte de pescado desde el muelle flotante o “chata” a las pozas de almacenamiento en la industria de harina de pescado. Se emplea de 1.5 a 2.5 TM de agua por cada TM de pescado transportado dependiendo del sistema de bombeo (Pesca Perú, 1994). 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 (Del Valle *et al.*, 1990).

Las características del agua de bombeo se relacionan directamente con los tiempos de captura, las especies de pescado, la estacionalidad de la pesca y el tipo de bombas usadas para el transporte (CONAM, 1998). 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) (Álvarez, 2003).

Castro (2004) reporta las características físico químicas del agua de bombeo según diferentes autores (cuadro 1).

Cuadro 1: Características físico químicas del agua de bombeo

Parámetro	Valores	
Sólidos Totales	32-79 g/L	2.8%
Grasa	0.16-7.5 g/L	0.10%
Proteína Total	NR	1.00%
Proteínas Solubles	0.3-7.50 g/L	NR
Ceniza	NR	1.40%
DBO ₅	NR	4600 ppm
DQO	490-12600ppm	35200 ppm
pH	NR	6.2
Fuente	Mari <i>et al.</i> ,(1994)	Abuet <i>al.</i> .(1984), citados por Del Valle <i>et al.</i> ,(1990)

NR: No hay referencia.

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).

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 (Landeo y Ruiz, 1996). Su producción se debe evitar en lo posible, y si ocurre debe ser procesada rápidamente para evitar su descomposición y permitir el aprovechamiento de los sólidos y el aceite que contiene.

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 (Parin *et al.*, 1979, citados por Del Valle *et al.*, (1990).

Las características físico químicas de la sanguaza, según Del Valle *et al.*,(1990) , se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2: Características físico químicas de la sanguaza

Parámetro	Valores
Sólidos Totales	4.6-7.3%
Grasa	0.8-1.2%
Proteína Total	2.2-4.4%
DQO	93000 ppm
pH	6.9

2.2.3 AGUA DE COLA

El agua de cola es la fracción líquida obtenida a partir del licor de prensa después de haber eliminado gran parte de los sólidos en suspensión y de la materia grasa (MIPE, 2001).

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 y George, 1970; Díaz *et al.*, 1983). Rodríguez (2002) reporta la composición química aproximada del agua de cola según varios autores (cuadro 3).

Cuadro 3 : Composición química del agua de cola

Agua (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)	Sólidos Totales (%)	Fuente
91.00-93.00	0.6-0.8	3.50	1.00	7.00-9.00	Briceño (1972)
91.0-94.0	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)

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 y George, 1972).

La mayor parte de sólidos contenidos en el agua de cola es proteína, aunque también es una fuente rica en minerales y vitaminas tal como se puede apreciar en el cuadro 4.

Cuadro 4: Composición de aminoácidos, vitaminas y minerales del agua de cola

Aminoácidos	Porcentaje
Arginina	4.3
Histidina	2.6
Lisina	4.1
Tirosina	0.8
Triptófano	0.8
Fenilalanina	1.9
Cistina	0.2
Metionina	1.5
Treonina	2.3
Glicina	7.2
Leucina	4.6
Isoleucina	1.0
Valina	2.9
Vitaminas	Sustancia seca (µg/g)
Riboflavina	30.0
Ácido Pantoténico	200.0
Niacina	350.0
Piridoxina	25.0
Colina	6000.0
Tiamina	0.8
Vitamina B12	1.5
Minerales	Porcentaje
Calcio	0.005-0.01
Fierro	0.002-0.003
Cloro	0.104-0.117
Fósforo	0.13-0.195

Fuente: Landeo y Ruiz

La composición del agua de cola varía de acuerdo a la frescura del pescado, los cambios a que ha sido sujeto y la operación de cocción(Arones,2008).

En este sentido es fundamental tener presente que la harina integral obtenida debe estar conformada por los solubles concentrados provenientes de la misma materia procesada ya que, el agua de cola almacenada sólo producirá efectos negativos en el producto final debido a la formación de aminos biogénicas por su contenido de aminoácidos,proteínas solubles y presencia de bacterias (Arones,2008).

Aminas Biogénicas

Las aminas biogénicas son compuestos orgánicos básicos de bajo peso molecular que tienen al menos un grupo amino en su estructura. Se producen por descarboxilación de aminoácidos (Fernández y Álvarez, 2005) o a través de otras vías metabólicas (Kalac y Krausova, 2005).

Pueden originarse en procesos de putrefacción por acción de enzimas microbianas a partir de los aminoácidos precursores, por lo que también se consideran indicadores de alteración (Pons, 2005). Al formarse en los organismos vivos durante el metabolismo normal, están presentes en los alimentos que consumimos habitualmente pudiendo provocar efectos perjudiciales sobre la salud. Es recomendable, por tanto, que el contenido se mantenga por debajo de ciertos límites. La producción de tiramina, histamina, putrescina, cadaverina, agmatina y espermidina se estudió como índice de calidad de la merluza (*Merluccius merluccius*, L.) conservada en hielo. Ruiz-Capillas y Moral, 2001 observó que la concentración de todas las aminas biógenas presentes, excepto la de espermidina, aumentó progresivamente con el tiempo de almacenamiento, especialmente la de cadaverina y agmatina, previa a la descomposición del pescado, por lo que estas aminas podrían indicar el estado de frescura de la merluza conservada en hielo. Además, la presencia de las aminas biógenas histamina, tiramina, cadaverina, putrescina, agmatina, espermina y espermidina fue reportada en pescado (Gingerich *et al.*, 1999) presentando la caballa, entre otras especies, un alto potencial para el desarrollo de la histamina a partir de la histidina libre.

Bacterias productoras de aminas biogénicas

Algunas especies de pescados contienen naturalmente grandes cantidades de histidina libre en sus tejidos; además que la proteólisis, ya sea autolítica o bacteriana, puede jugar a su vez un rol importante en la liberación de más histidina que puede servir como sustrato a la histidina descarboxilasa bacteriana (Ababouch, 1991).

La formación de histamina es resultado del mal manipuleo y una mala preservación del pescado; generalmente pescados almacenados en lugares con poca higiene y a temperaturas por encima de las de refrigeración en tiempos prolongados, son susceptibles a

formar grandes cantidades de histamina, siempre que presenten histidina libre en sus músculos.

Algunas malas prácticas de captura, generalmente cuando al pescado se le ha permitido luchar sobre la línea por un período relativamente prolongado de tiempo, pueden causar un incremento de la temperatura interna, favoreciendo el crecimiento bacteriano, formándose histamina antes de que el pescado esté sobre la embarcación (Albrecht y Salas *et al.*, 2003).

Se han reportado ocurrencias de formación de histamina aún a temperaturas moderadas (entre los 4 y los 10°C) siendo todavía tema de controversia (Okuzumi, 1984; Dawood,1988; Kazuhisa,1992). Las bacterias formadoras de histamina son capaces de crecer y producirla en un amplio rango de temperaturas, sin embargo, su acción es más rápida a temperaturas que fluctúan alrededor de 21°C o más (Albrecht y Salas *et al.*, 2003).

Las bacterias asociadas a la formación de histamina están comúnmente sobre las agallas y en los intestinos del pez vivo sin originar daño; una vez muerto el pez, sus mecanismos de defensa no inhiben el crecimiento bacteriano, aumentando el número de bacterias que aprovechan la histidina libre presente en el medio (Ababouch,1991).

Enterobacterias (especialmente especies de *Proteus* y *Klebsiella*) forman histamina como producto secundario de su metabolismo por acción de su enzima histidina descarboxilasa (Taylor,1986). Al investigar la microflora responsable de la descomposición, es importante identificar a las bacterias formadoras de histamina, a fin de determinar el porcentaje de la población bacteriana total que ellas representan (Ababouch *et al.*, 1991).

Las bacterias intestinales formadoras de histamina más abundantes en el pescado son: *Morganella morganii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris* y *Hafnia alvei*, éstos han sido aislados de pescados implicados en la mayoría de envenenamientos (Ababouch,1991).Ciertas bacterias no intestinales del pescado son también capaces de producir histamina en condiciones de anaerobiosis (*Clostridium perfringens*); a temperaturas de refrigeración (la psicrófila *Photobacterium spp*); a temperaturas de

refrigeración y salinidad elevada, perteneciendo a este último un grupo de bacterias psicrófilas y halófilas denominadas "bacterias grupo-N" (Albrecht y Salas *et al.*, 2003).

La mayor parte de estudios toman como consenso que las bacterias formadoras de histamina son principalmente organismos mesófilos (adaptados a temperaturas entre los 20 y 37°C), sin embargo, se ha demostrado que *Klebsiella pneumoniae* es capaz de producir histamina a 7°C después de prolongados períodos de almacenamiento; y las aún no identificadas "bacterias grupo-N", que parecen formar parte de la microflora normal de la superficie del pescado, son capaces de producir histamina a temperaturas de hasta 2,5°C (Ababouch, 1991).

Tanto las enzimas como las bacterias pueden ser inactivadas por cocción; sin embargo una vez que la histamina ya está formada no es posible eliminarla.

Después de la cocción del pescado, la recontaminación con bacterias formadoras de histamina es poco probable (por la menor proporción de ellas en el ambiente), por esta razón el desarrollo de histamina es más frecuente en pescados crudos.

Adicionalmente, la manera como se manipula el pescado determina el crecimiento de bacterias productoras de histamina a partir de la descarboxilación de la histidina (Watanabe, 1985; Clifford, 1993). Considerando que el efecto de la temperatura en la formación de histamina es determinante, el rápido enfriamiento del pescado después de muerto es la principal estrategia para prevenir la formación de histamina (escombrotóxina). El almacenamiento a bajas temperaturas después de la captura, es la clave para el control en la acumulación de la histamina bacteriana en el pescado, aunque, es necesario aún investigar más a fondo la formación de histamina en el almacenaje a bajas temperaturas.

Histamina

La intoxicación escombroides o por histamina se relaciona con el consumo de pescado alterado con un alto contenido de la amina biogénica histamina proveniente de la histidina libre por acción enzimática. Presenta síntomas y tratamientos similares a los asociados con las alergias alimentarias (Hungerford, 2010, Gozzi *et al.*, 2008). Algunos estudios (FDA, 2001; Tao *et al.*, 2011) indican que otras aminas como la putrescina y la

cadaverina podrían facilitar el transporte de la histamina potenciando su toxicidad. La inadecuada manipulación y conservación del pescado crudo favorecen la contaminación y proliferación de microorganismos, que no solo pueden afectar directamente la salud del individuo, sino también hacerlo de manera indirecta a través de los metabolitos que se forman, como en el caso de la histamina a partir de la histidina. Su contenido en los ejemplares recién capturados es despreciable (Hungerford, 2010), sin embargo, la carga microbiana propia y la incorporada en los procedimientos post-captura encuentran en el pescado un medio excelente para ser colonizado. Las especies pertenecientes a la familia Scombridae, como el atún, la caballa y el bonito, con un alto contenido del aminoácido histidina, precursora de la histamina, sufren este proceso por acción de la enzima histidina descarboxilasa de origen bacteriano. Es importante resaltar que para que se forme histamina tiene que existir histidina libre.

Ni siquiera a partir de los dipéptidos anserina (β -alanilmetilhistidina) y carnosina (β -alanilhistidina) presentes en el músculo y producidos a partir de la histidina, se ha observado la formación de histamina. Existen otras especies no escombroides, como el mahi-mahi, la sardina, el arenque y la anchoa, que también han sido relacionadas con la intoxicación por histamina (Hungerfort, 2010).

2.3 TRATAMIENTO DEL AGUA DE COLA EN PRODUCCIÓN DE HARINA Y ACEITE DE PESCADO

Lezama y Rosillo (2001) mencionan que el agua de cola es llevada a los evaporadores, donde se produce un concentrado pastoso con un contenido de 30 a 45 por ciento de sólidos. Este producto a veces se comercializa por separado como “solubles de pescado” pero por lo general se mezcla con la torta de prensa e ingresa a la línea de producción de la harina completa. La recuperación de los sólidos en el agua de cola; cuyos sólidos presentes son en su mayor parte proteínas representa un considerable aumento del contenido de proteínas en la harina y, por lo tanto, un incremento del valor real de toda la harina producida (Tornes y George, 1972).

Para todos los fines prácticos se puede estimar la cantidad de agua de cola en el 65% de la materia prima. Para recuperar el sólido del Agua de Cola, se tiene que eliminar gran cantidad de agua por evaporación y subsiguiente secado.

El agua de cola posee aproximadamente 7% de sustancias sólidas disueltas, principalmente aminoácidos, proteínas, vitaminas y sales minerales. El agua de cola que entra al evaporador aumenta su concentración de sólidos hasta aproximadamente seis veces su concentrado inicial, convirtiéndose a su salida en el concentrado de agua de cola (CAC).

La incorporación de este concentrado a la torta de prensa enriquece nutricionalmente la harina y aumenta de paso el rendimiento del proceso traduciéndose en un mayor aprovechamiento de la materia prima constituida generalmente por jurel (*Trachurus sp*). La harina así producida se denomina harina integral (Windsor y Barlow, 1984).

El agua de cola se concentra para ser incorporada en el keke o torta de prensa. Esta operación se realiza en evaporadores de 4 efectos para lo cual se tienen dos plantas evaporadores, una de ellas de tubos inundados en el cual el medio calefactor de la primera etapa es el vapor del caldero y en las siguientes etapas es aquel generado de la concentración de los efectos anteriores, la operación es contracorriente. La segunda planta evaporadora trabaja a contracorriente en la cual el agua de cola se arrastra mediante película perimetral en los tubos, para el primer efecto se utilizan los vahos de los secadores a vapor y para el segundo efecto y los siguientes efectos trabajan con la evaporación de los efectos anteriores ayudados por un vacío.

Además, los requerimientos de vapor para la concentración del agua de cola y para secar la torta de prensa son de aproximadamente 0.34 y 1.20 Kg de vapor por Kgde agua removida, respectivamente. Esto es importante, ya que los procesos de evaporación y secado demandan el 70% del requerimiento energético total para la producción de harina de pescado (Del Valle *et al.*, 1990). En la Figura 1 se muestra un balance de materia típico de una producción de harinera y aceite de pescado (Landeo y Ruiz, 1996), en él se observan las cantidades producidas por los dos efluentes del proceso por cada 1000 Kgde anchoveta que ingresa. En el caso del agua de cola se producen 509 Kgde efluente, con 21 Kgde sólidos. Si la planta cuenta con el sistema de evaporación del agua de cola, estos sólidos se recuperan y son incorporados a la harina.

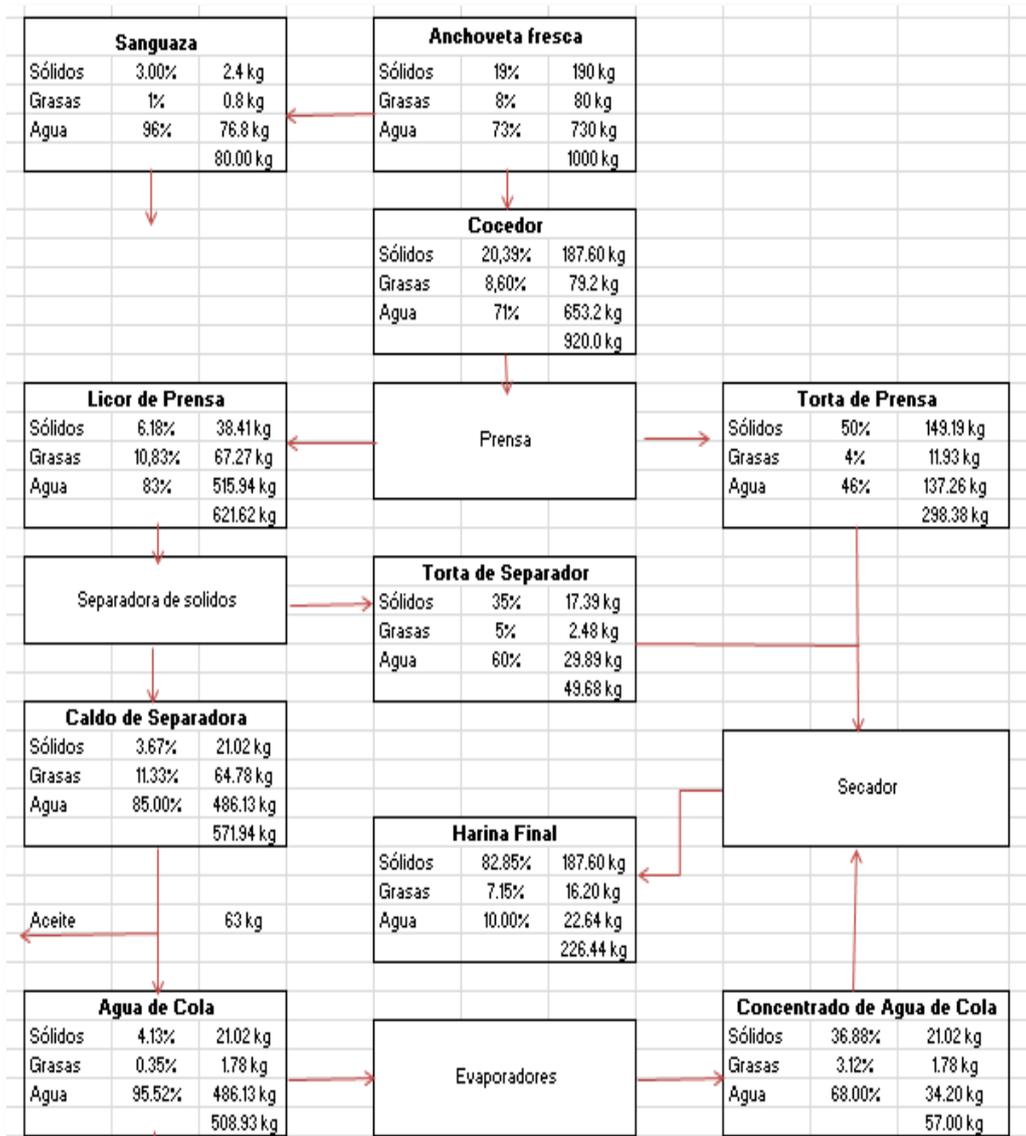


Figura 1: Balance de materia de la fabricación de harina y aceite de pescado

2.4 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):

- La desestabilización de las partículas suspendidas, es decir la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.(Coagulación)
- El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos. (Floculación).

2.4.1 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.

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).

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.

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.

Absorción y neutralización de cargas

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

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

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

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la 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.

Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado

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

Adsorción y puente

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

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

2.4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

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.

Influencia del pH

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

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

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

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

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

Influencia de la turbiedad

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

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

- 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(Andia,2000).
- 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.

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.

Influencia de la temperatura del agua

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

Influencia de la dosis del coagulante

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

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos 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 microflóculos 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.

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 (60 seg., máx.) llamado **mezcla rápida**; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los 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.

2.4.3 ETAPAS O FASES DE LA COAGULACIÓN

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

- 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

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.

2.4.4 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 absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea (Figura 2).

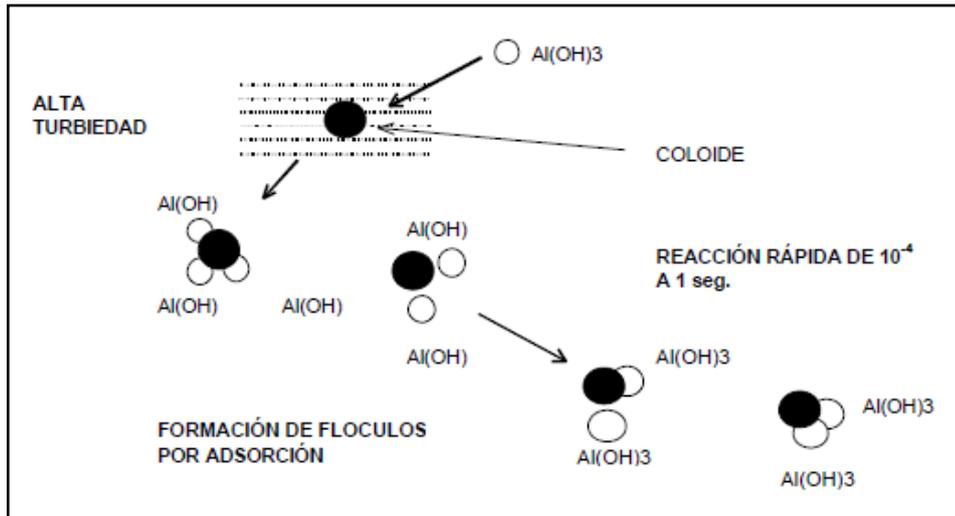


Figura 2: Coagulación por Adsorción

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.

En el caso del sulfato de aluminio, las especies hidrolizadas que se forman son: Al_3^+ , $Al(OH)_2^+$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ y $Al(OH)_4^-$, las cuales son tomadas a menudo para representar todo el sistema.

Estas especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con los grupos SILANOL ($SiOH$) y el coloide y lo desestabilizan, permitiendo la formación de flóculos. 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.

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.

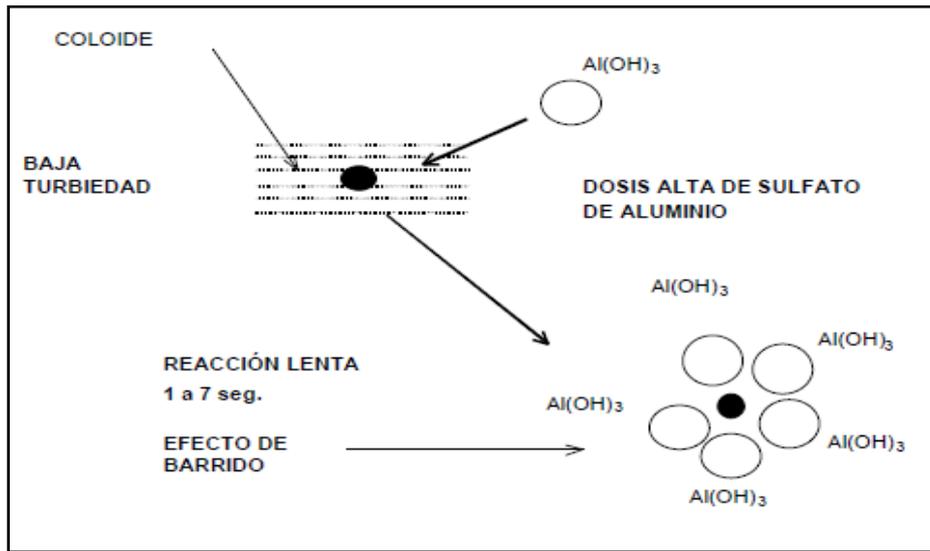


Figura 3: Coagulación por barrido

2.4.5 REMOCIÓN DE TURBIEDAD

La aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación, como se puede observar en la Figura 4.

Zona 1.- La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.

Zona 2.- Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

Zona 3.- Si se continúa incrementando la dosis, llega un momento en que no se produce una buena coagulación, ya que los coloides se re estabilizan.

Zona 4.- Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una súper saturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad.

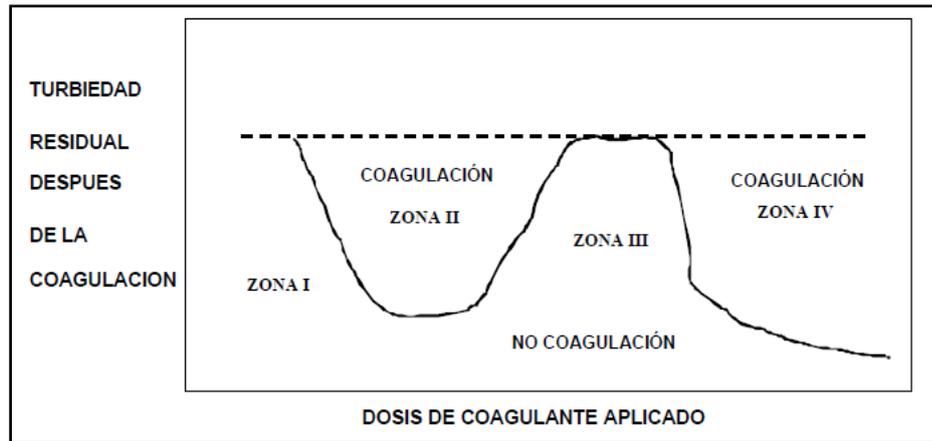


Figura 4: Diagrama de remoción de turbiedad

2.5 MECANISMOS DE LA FLOCULACIÓN

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

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

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; 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 flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación implica que por medio de sustancias químicas (polímeros, polielectrolitos) se aumente el contacto entre las partículas

finas en la coagulación para formar flóculos los cuales sedimentan más fácilmente (Kurita, 1999). La floculación se ve favorecida por la agitación moderada del agua residual, por medio de paletas a baja velocidad. Si la agitación es demasiado rápida, los flóculos se rompen, por ello debe controlarse la velocidad dentro de un rango en el que se puedan formar los flóculos grandes para que sedimenten. Los polielectrolitos que se usan en floculación pueden ser de origen natural o sintético. Su funcionamiento depende del tamaño, densidad y carga de las partículas a flocular y del pH del polímero en solución (Ramírez, 1992; Singh *et al.*, 2000; Weeber, 2003; Sincero y Sincero, 2003).

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 interactúan 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.

2.5.1 TIPOS DE FLOCULACIÓN

Según Andía (2000), 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.

2.5.2 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 microfloculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floc.
- Volumen de lodos (los floculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

2.5.3 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.

2.6 TIPOS DE COAGULANTES-FLOCULANTES

Los químicos usados en coagulación y floculación son inorgánicos y orgánicos. De los primeros se usan sales metálicas trivalentes como sulfato de aluminio III, cloruro de aluminio III, sulfato de hierro III y cloruro de hierro III. De los químicos orgánicos se usan polímeros no iónicos, catiónicos o aniónicos en los que la densidad de carga puede variar de baja a alta, dependiendo de la composición del copolímero. El polímero más usado es la poliacrilamida (Ramírez, 1992). Nacheva *et al.*, (1996) usaron coagulación y floculación en el tratamiento de aguas residuales con cloruro férrico y otros polímeros sintéticos. También se usaron polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes-floculantes.

2.6.1 COAGULANTES ARTIFICIALES

A. Coagulante metálico

Existe una gran variedad de coagulantes metálicos que pueden clasificarse en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. Los coagulantes metálicos pueden ser aplicados directamente o luego de prepararlos en solución (Causa y Pinto, 1974).

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 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$.

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 y Pinto, 1974).

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, 1978).

El sulfato de aluminio es una sal ácida que se disuelve fácilmente en el agua. Se puede aplicar en forma de solución o en seco. Se encuentra en el comercio en terrones (colpas), granulado o en polvo (Causa y Pinto, 1974).

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, 1967). 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).

Otros coagulantes

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 (Causa y Pinto, 1974).

2.6.2 COAGULANTES NATURALES

Los coagulantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal (Kawuamura, 1991; Lee *et al.*, 1995; Ganjidoust *et al.*, 1997; Broekaert *et al.*, 1997), que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de ésta. Algunos de estos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades.

Su origen natural, garantiza la inocuidad para el ser humano, y la biodegradabilidad de los lodos producidos permite además su utilización en la agricultura. Su aplicación, no solo puede ir dirigida a países en vías de desarrollo, sino también a potabilización convencional y al tratamiento de aguas residuales. En la actualidad, el uso de coagulantes de origen sintético para la potabilización, tales como el Sulfato de Aluminio o el Cloruro Férrico

(Van Benchosten *et al.*, 1990, Boisvert *et al.*, 1997; Najm *et al.*, 1998), también es cuestionada debido entre otros motivos a :

- Los problemas medioambientales que conlleva, fundamentalmente de generación de lodos tóxicos que no pueden ser utilizados en la agricultura (Christopher *et al.*, 1995; Kaggwa, 2001).
- La relación con la enfermedad de Alzheimer (Crapper *et al.*, 1973; Alfrey *et al.*, 1976; Schecher *et al.*, 1988; Crapper *et al.*, 1980; Davidson *et al.*, 1982; Gardner *et al.*, 1991; Jekel, 1991).
- Empeoramiento de enfermedades neurodegenerativas (Miller, 1984; Martyn *et al.*, 1989)
- Relación con el cáncer (Dearfield *et al.*, 1964; Mccollister *et al.*, 1964; Mallevialle *et al.*, 1984).

Jahn (1988) publicó una lista de coagulantes naturales de origen vegetal que tradicionalmente se habían utilizado en África subsahariana, la India y América del Sur. Entre ellos, se encontraban las semillas de almendra, albaricoque, melocotón, *Cactus opuntia*, legumbres, guisantes, lentejas, nueces, habas, guar y *Moringa oleifera*.

Algunos de ellos han sido estudiados con mayor profundidad, proporcionando resultados positivos en relación a su actividad coagulante. A continuación, se muestran las especies de coagulantes naturales más estudiadas en la actualidad.

- *Strychnos potatorum* (Tripathi *et al.*, 1976; Adinolfi, 1994; Chaudhuri, 2005)
- *Moringa oleifera* (Folkard *et al.*, 1986; Olsen, 1987; Sutherland *et al.*, 1994; Muyibi *et al.*, 1995a; Muyibi *et al.*, 1996; Ndabigengesere *et al.*, 1998; Okuda *et al.*, 1999, Dorea, 2006).
- Okra (Al-Samawi *et al.*, 1996)
- Mandioca (Leiva *et al.*, 1997)
- Arroz (Leiva *et al.*, 1998)
- Almidón (Hamidi *et al.*, 1998; Hamidi *et al.*, 2000)
- *Cactus Latifaria* y *Prosopis juliflora* (Diaz *et al.*, 1999)
- Taninos de Valonia (Özacar *et al.*, 2000, 2002, 2003)
- Tamarindo (Mishra *et al.*, 2006)
- *Samanea saman* (González *et al.*, 2006)
- Algas marinas (Kawuamura, 1991)

- Alubia blanca (Liew *et al.*, 2004)
- Cactus (Zhang *et al.*, 2006)
- Tuna opuntia *Cochinellifera* (Almendárez de Quezada, 2004)
- Maíz dulce (Raghuwanshi *et al.*, 2002)

Los polímeros naturales o biopolímeros son producidos por todos los organismos vivos. Se acepta que son biodegradables ya que se producen de forma natural, aunque con polímeros como la lignina, la biodegradación puede ser muy lenta (Swift, 1997).

Los biopolímeros constituyen uno de los sustitutos potenciales a los floculantes inorgánicos especialmente aquellos que se comportan como polielectrolitos catiónicos capaces de coagular partículas cargadas negativamente no solo a través de puentes o fuerzas electrostáticas, sino también a través de interacciones hidrofóbicas (Parazok *et al.*, 1988), el quitosano, polielectrolito catiónico, es un prometedor agente para purificación de agua como se ha reportado en recientes patentes (Renault *et al.*, 2009).

Los polímeros son moléculas unidas que forman moléculas grandes (Jaimes, 1995). Se han empleado polímeros naturales para purificar agua. Sin embargo, comparados con aluminio, algunas ventajas del uso de polímeros en el tratamiento de aguas son (Bolto y Gregory, 2007):

- Se requieren dosis bajas
- Se produce menos lodo
- Es poco el incremento en la carga orgánica del agua tratada
- Reduce el nivel de aluminio en el agua tratada
- Ahorro en costo hasta 25-30%

Moringa oleifera

La semilla de *Moringa oleifera* es el coagulante natural, de origen vegetal más conocido y estudiado en la actualidad *Moringa oleifera* (Figura 5) fue en su origen un árbol ornamental del Sudán, plantado durante la ocupación británica. *Moringaceae* es el nombre de la familia de plantas que engloba a más de 14 especies conocidas, endémicas de los países africanos, Madagascar, Arabia y la India. La mitad de ellas son relativamente

comunes en la actualidad y son esporádicamente cultivadas, aunque sólo la *Moringa oleifera* es cultivada en toda el área tropical.



Figura 5: Árbol *Moringa oleifera* (Izqda.). Semilla de *Moringa oleifera* (Dcha.)

Esta especie posee un gran interés, debido a los múltiples usos que posee: las vainas, hojas y semillas son un alimento vegetal con un poder nutricional elevado, el aceite extraído de las semillas, se emplea para cocinar, fabricar jabón y cosméticos, como combustible para calefacción e iluminación, la pulpa de la madera se emplea para fabricación de papel, la madera es ligera, así que no puede utilizarse para construir estructuras sólidas, aunque si tiene uso como leña para cocinar, las hojas son un buen fertilizante y las semillas en polvo se emplean para curar o aliviar infecciones bacterianas de la piel (García, 2007).

El uso más conocido de la semilla de *Moringa oleifera* es el tratamiento del agua, debido a sus propiedades coagulantes (Sutherland *et al.*, 2004), antibióticas (Eilert *et al.*, 1981; Olsen, 1987) y antifúngicas (Chuang *et al.*, 2007).

En el Cuadro 5 se muestra los principales usos de la *Moringa oleifera* y su procedencia.

El método tradicional de clarificación del agua cruda (Lund, 1980; Jahn, 1984) mediante el uso de semillas de *Moringa oleifera*, consiste en añadir a una vasija que contiene el agua cruda a tratar, una bolsa de tela cerrada con las semillas finamente trituradas de la planta. Tras unas horas, la materia en suspensión presente en el agua cruda sedimenta y el sobrenadante clarificado se trasvasa a otra vasija para ser consumido directamente (Figura 6).

Cuadro 5: Usos de la *Moringa oleifera*

Usos	Procedencia
Legumbres	Las vainas verdes, las hojas, flores y las semillas asadas son comestibles y altamente nutritivas.
Aceite	Las semillas contienen un 40% de aceite muy rico en tocoferoles. Se usa para cocinar, para fabricar jabones, cosméticos y como combustible de lámparas.
Coagulante para el Tratamiento de agua	Tradicionalmente usado para la clarificación de agua cruda a nivel doméstico en Sudán e Indonesia. Usado con éxito para depurar grandes cantidades de agua en Malawi.
Otros usos	Todas las partes de la planta se usan en una gran variedad de medicinas tradicionales, por sus propiedades antiinflamatorias, hepatoprotectoras, antihipertensivas y antitumorales. La semilla molida se usa como ungüento para tratar infecciones bacteriales comunes de la piel. Después de extraer el aceite las hojas y las semillas se pueden usar como forraje para ganado y fertilizante del suelo. Se siembra para formar barreras vegetales y como rompe vientos. Como leña después de haber podado el tallo principal para reforzar los tallos laterales. En agroforestería: para intercalar con otros cultivos Como abono, al tratarse de árboles leguminosos que añaden nitrógeno al suelo. La pulpa de la madera para fabricación de papel. Como árbol ornamental.



Figura 6: Comparación entre muestras de agua cruda y tratada con *Moringa oleifera*

Entre las principales ventajas que presenta el uso de esta semilla destacan su bajo costo, la biodegradabilidad del lodo producido así como la estabilidad del pH del agua tratada con dicha sustancia. Por su parte, los extractos salinos y acuosos crudos de *Moringa* han mostrado una gran eficacia como coagulante primario natural, alcanzando una reducción de la turbiedad elevada (entre 92-99 %), (Jahn, 1988; Muyibi *et al.*, 1995b) y una producción de lodo residual menor que el producido por el sulfato de aluminio (Ndabigengesere *et al.*, 1996).

El principal inconveniente que presenta la *Moringa oleifera* y el resto de coagulantes naturales, es que cuando se adicionan al agua en forma de semillas pulverizadas, incrementan la carga orgánica de ésta de manera significativa añadiendo hasta un 90% de sustancias orgánicas que no actúan como agentes floculantes (Jahn, 1988; Ndabigengesere *et al.*, 1995; Okuda *et al.*, 2001a). Este hecho, impide almacenar el agua tratada por un tiempo superior a 24 horas (Jahn, 1988).

Las investigaciones en torno a la *Moringa*, se centran en la caracterización del compuesto activo bien sea proteína (Gassenschmidt *et al.*, 1995; Ndabigengesere *et al.*, 1995; Nkhata, 2001) o polielectrolito (Okuda *et al.*, 2001b), en la purificación del compuesto activo por métodos sencillos (Ghebremichael *et al.*, 2005) o en el estudio de sistemas alternativos que permitan la utilización de los extractos coagulantes para la clarificación de agua, tales como su combinación con filtración en lecho de arena (Lilliehöök, 2005).

Además de su aplicación en clarificación y potabilización de aguas crudas, se ha estudiado la aplicación de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria textil (Vasudevan *et al.*, 2002), de industrias de extracción de aceite de oliva (Meysami *et al.*, 2005), en aguas con elevado contenido de metales pesados como el cadmio (Sharma *et al.*, 2006) o en deshidratación de lodos (Özacar *et al.*, 2000) obteniéndose resultados alentadores.

Quitano

La quitina es el segundo biopolímero después de la celulosa ampliamente distribuido en la naturaleza; especialmente en invertebrados marinos, insectos, hongos y levaduras. El subproducto de su desacetilación denominado quitosano es soluble en disoluciones acídicas lo que lo hace susceptible para amplias aplicaciones (Tokura y Tamura, 2007).

El quitosano es un biopolímero lineal de la D-glucosamina y la N-acetil -D-glucosamina producido por la desacetilación alcalina de la quitina, el segundo polímero natural más abundante después de la celulosa. Las principales fuentes explotadas son dos crustáceos: cangrejos y camarones.

El quitosano tiene propiedades únicas en relación a otros biopolímeros especialmente por la presencia de grupos aminos y su alto contenido de nitrógeno en comparación con la celulosa.

La estructura molecular del quitosano permite disponer de pares de electrones para actuar como agente quelante y formar complejos con metales pesados como: Al^{3+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Hg^{2+} , Ag^+ , Pb , Cd^{2+} presentes en el agua (Gylieneet *al.*, 2002; Zeng *et al.*, 2008).

El quitosano es biodegradable, no tóxico y un efectivo agente coagulante de sólidos suspendidos en aguas residuales de varios procesos tecnológicos. Además, el quitosano es biocompatible cualidad que ha sido muy explotada en la industria biomédica. Su principal diferencia con la quitina es la presencia de grupos amino (-NH₂) que le confieren un carácter catiónico en medio ácido con importantes implicaciones tecnológicas (Tokura & Tamura, 2007).

Posee además características de agente coagulante y/o floculante. Esta doble acción se debe a su alta carga catiónica, gran longitud de la cadena polimérica y a su capacidad para estabilizarse a un pH superior a la constante de disociación (pK macromolécula (pH neutro o alcalino) en donde coagula y precipita llevándose consigo partículas orgánicas, colorantes, contaminantes entre otros (No y Meyers, 2000) influyen sobre la capacidad de adsorción del quitosano, en muchos casos la tasa de adsorción decrece conforme decrece el pH.

Es importante destacar la relación entre las propiedades fisicoquímicas, la fuente de quitosano y el método de obtención, una hidrólisis homogénea permite obtener quitosanos con alta capacidad de adsorción de iones metálicos que uno preparado bajo condiciones heterogéneas con el mismo grado de desacetilación (Sannan y Iwakura, 1978).

El potencial industrial del quitosano ha sido ampliamente reconocido, su versatilidad se ha utilizado en ingeniería biomédica, farmacéutica, oftalmología, biotecnología, química, cosmética, textiles, papel, industria de alimentos, agricultura y fotografía. El quitosano es también ampliamente aplicado en el tratamiento de aguas residuales; en estado sólido se aprovecha su capacidad quelante. Es eficiente en agua fría y a concentraciones menores que las de coagulantes comerciales.

El uso del quitosano como agente floculante está ampliamente justificado por dos ventajas importantes: primero, es no-tóxico y biodegradable y segundo, interacciona con varios contaminantes incluyendo partículas y sustancias disueltas. Por ejemplo, ha sido exitosamente utilizado en el tratamiento de suspensiones minerales y orgánicas y la coagulación de contaminantes con carga negativa en soluciones acídicas que contenían ácido húmico sin dejar metales libres que podrían generar problemas de contaminación secundaria favorecida además por su condición de biodegradabilidad lo que hace que sea eficientemente degradado por microorganismos en la naturaleza.

A nivel industrial la efectividad del quitosano como agente floculante o coagulante ha sido probada en plantas procesadoras de pescado (Guerrero *et al.*, 1998), industrias de alimentos (Fernández y Fox, 1997; Pinotti *et al.*, 1997), sedimentos en ríos (Divakaran y 26 Sivasankara Pillai, 2002b), partículas de látex (Ashmore *et al.*, 2001), microorganismos (Strand *et al.*, 2002) y coloides minerales (Huanget *al.*, 2000) con excelentes resultados.

Galactomananas

Un tipo de polímeros naturales son las galactomananas que se han usado de ayuda como floculantes en separaciones sólido-líquido y varían en su estructura, peso molecular, biodegradabilidad y facilidad para formar disoluciones (Bolto y Gregory, 2007).

Las galactomananas son polisacáridos neutros de estructura lineal formados por una cadena central de D-manosa unidas por enlaces $\beta(1\rightarrow4)$, a la cual se enlazan residuos de $\alpha(1\rightarrow6)$ -D-galactosa en distinta proporción, dependiendo del origen botánico (López-Franco *et al.*, 2006).

Las galactomananas se encuentran en el endospermo de la semilla de las leguminosas como fenogreco, guar, algarrobo y mezquite o incluso en el endospermo del tomate, semillas de café y otras del grupo de las *Convolvulaceae*, *Asteraceae* y *Arecaceae*. El

grado de sustitución de galactosas varía el radio Man/Gal (M/G) de 1.1 a 3.5 y tiene un efecto drástico en la dureza de la semilla o en su capacidad para retener agua (Mathur y Mathur, 2005; Pinto *et al.*, 2007; Otegui, 2007; Wu *et al.*, 2009).

Las galactomananas son importantes para las semillas por sus propiedades hidrofílicas que permiten al endospermo retener agua durante la temporada de sequía, proteger al embrión de desecación. Incluso, son movilizadas como medio de reserva durante la germinación de las semillas. Las galactomananas han sido ampliamente utilizadas con aplicaciones industriales. Por ejemplo, gomas guar y algarrobo se usan en la industria de los alimentos como viscosificantes, estabilizantes y agentes gelificantes (Mathur y Mathur, 2005; Srivastava y Kapoor, 2005; Otegui, 2007; Chairez-Martínez *et al.*, 2008).

La goma guar se obtiene de la semilla de una leguminosa: la planta guar, *Cyamopsis tetragonolobus*. El mayor productor y exportador es India, es importante como alimento para humanos y animales. La goma es una galactomanana de alto peso molecular contiene un gran número de unidades de manosas y galactosas unidas 1:2. Esta goma es utilizada como floculante o agente de sedimentación (www.guargum.co.in, Jaimes, 1995).

La goma algarrobo o bien conocida como *locust bean gum*, proviene de la planta *Ceratonia siliqua*, una leguminosa típica del Mediterráneo. Se usa en la industria alimenticia como producto en panadería, en la industria textil, papel, petróleo, farmacéutica y cosméticos. Esta goma es un polisacárido de galactomananas, la cadena consiste en 1:4 unidades de manosa y galactosa (Fig. 18). El radio M/G es de 3.5. La goma algarrobo se aplica como floculante ya que es un agente que acelera la velocidad de sedimentación (Jaimes, 1995; Dakia *et al.*, 2008).

La goma de mezquite se extrae de otra leguminosa, del árbol *Prosopis juliflora*. El mezquite se cultiva en América, en México en zonas áridas y semiáridas. Se usa para obtención de leña, carbón, miel y en la elaboración de productos alimenticios para animales y para el hombre. La semilla está compuesta por un polisacárido de las galactomananas con unidades de manosas y galactosas. El radio M/G es 1.1 (Pinto *et al.*, 2007). Esta goma tiene potencial aplicación industrial ya que contiene propiedades emulsificantes como otras galactomananas (López-Franco *et al.*, 2006).

Mucílago de Nopal

El mucílago de *Opuntia ficus* contiene complejas sustancias poliméricas de naturaleza de carbohidratos. Es una sustancia pegajosa que se produce en células del colénquima y parénquima que ayuda al cactus a retener agua. Se ha reportado que contienen proporciones variantes, según la especie de *Opuntia*, de D-galactosa, L-arabinosa, D-xilosa y L-ramnosa así como ácido D-galacturónico. Por su composición química se asemeja a las pectinas, elementos estructurales de las paredes celulares primarias e intracelulares de las plantas superiores (Sepúlveda *et al.*, 2007; Miretzky *et al.*, 2008; Miller *et al.*, 2008).

La composición de las pectinas es un esqueleto de cadenas de α (1 \rightarrow 4) ácido D-galacturónico interrumpido por la inserción de residuos (1 \rightarrow 2) L-ramnopiranosil en posición adyacente o alterna (Goycoolea y Cárdenas, 2003; Sepúlveda *et al.*, 2007; Miller *et al.*, 2008).

El nopal, una especie endémica de América, crece en regiones áridas y semiáridas. Del género *Opuntia*, es un alimento muy importante en la región, además se usa como aditivo para pinturas o se le dan usos medicinales (Miller *et al.*, 2008). En sus pencas o cladodios se encuentra agua retenida en un entramado de carbohidratos llamados mucílagos (Ríos y Quintana, 2004). En el mucílago de sus frutos se ha reportado que se compone de una compleja mezcla de polisacáridos, de los cuales la mitad son del tipo de pectina (Matsuhiro *et al.*, 2006). Se ha descrito que el mucílago de los cladodios contiene ramnosa, arabinosa, galactosa y xilosa, y que tiene relación con el almacenamiento de calcio formando estructuras *caja de huevos* (Goycoolea y Cárdenas, 2003). Se ha reportado que el mucílago tiene propiedades coagulantes (Zhang *et al.*, 2006, Miller *et al.*, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La parte experimental del presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Procesos de la Facultad de Pesquería y Biorremediación de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIA PRIMA

Se utilizó agua de cola procedente de la Empresa Pesquera Hayduk S.A., envasadas en recipientes de plástico y conservada en condiciones de congelación (-2°C a -5°C).

3.2.2 AGENTES COAGULANTES/FLOCULANTES

Se utilizaron de forma individual coagulantes/floculantes de origen natural y mezcla de ellos, los cuales fueron designados como compuestos: **A, B, C, 2, Q, T, 2T, H, R** y **T1** por su practicidad, a continuación se indica la identificación de cada uno de ellos.

- A : Polímero natural 1
- B : Polímero natural 2
- C : Polímero natural 3
- 2 : Polímero natural 4
- Q : Polímero natural 5
- T : Polímero natural 6
- 2T : Polímero natural 7
- H : Polímero natural 8
- R : Sal inorgánica 1 (Sulfato de aluminio)
- T1 : Sal inorgánica 2 (Cloruro férrico)

3.2.3 EQUIPOS

- Equipo de Jarras, LOVIBOND WET
- Centrífuga, HETTICH UNIVERSAL 220V
- Balanza analítica de precisión, METTLER (0,1mg).
- Estufa eléctrica, MEMERT modelo 464075.
- Turbidímetro, HACH 2100 Q
- Conductímetro, HANNA INSTRUMENTS.
- Peachímetro, HANNA INSTRUMENTS.
- Termómetro, HANNA INSTRUMENTS.
- Cronómetro, CITIZEN

3.2.4 MATERIALES

- Materiales de vidrio: beakers de 1000, 500 ml, tubos de ensayo, tubos de centrifuga, probetas, pipetas de 1ml ,5ml, 10 ml, matraces tipoErlenmeyer de 50 ml y 125 ml.
- Material de plástico: baldes, lavatorios, embudos, jeringas hipodérmicas de 1ml, 5ml, 10ml, 20ml, 30ml,45ml y 60ml.

3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

3.3.1 ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO

Evaluación organoléptica del agua de cola

La muestra de agua de cola fue evaluadautilizando la tabla para evaluación organoléptica de muestras de aguas residuales propuesta por DIGESA (Anexo I).

Determinación de sólidos totales y humedad

Fueron determinados en agua de cola, lodo recuperado y líquido residual de acuerdo al método F2f del Institute Pacific Technologists (1982), cuyo procedimiento fue tomar 20 ml de la muestra de agua de cola, agitarla y trasvasar a una placa Petri previamente lavada, secada y pesada. Luego se peso la placa con la muestra y se llevo a la estufa a 100°C hasta peso constante y se dejo enfriar en un desecador. Los sólidos fueron determinados de la siguiente forma:

$$\text{Sólidos totales} = (\text{Peso de sólidos secos} / \text{peso de la muestra}) \times 100$$

Determinación de grasa cruda

Fue determinada en agua de cola, lodo recuperado y líquido residual según lo recomendado por el Institute Pacific Technologists, IPT, (1972), método F3d, consistió en tomar 20 ml de la muestra, colocarla en un vaso de precipitado previamente pesado y determinar el peso total, luego se transfirió la muestra a un embudo de separación, donde se adicionó 20 ml de hexano, con un volumen de 5ml, se enjuagó el vaso y se transfirió al embudo, se agitó vigorosamente y se dejó decantar; luego, se retiró la capa de hexano, la cual fue juntada con el volumen anterior. Por último, se realizó la destilación de hexano y por diferencia de peso del balón se obtuvo el peso final de la grasa.

$$\text{Grasa} = (\text{Peso de grasa} / \text{peso de la muestra}) \times 100$$

Determinación de aminoácidos

En los sólidos recuperados (lodo 8-10% de humedad) se determinaron y cuantificaron los aminoácidos presentes, a través del método por cromatografía líquida de alta presión (HPLC).

Determinación de metales

Se determinaron Pb, Cr, As, de acuerdo al método AOAC 2011 tanto en líquido residual como en los sólidos recuperados (lodo 8-10 de humedad); adicionalmente se determinó Hg en los sólidos recuperados de acuerdo al método APHA/AWWA-WPCF y en el líquido residual se determinó Cd, Hg, Al y Cl según el método descrito por la APHA/AWWA-WPCF para aluminio y mercurio y APHA/AWWA-1992 para cloruros y AOAC 2011 para el cadmio.

Determinación de pH

Se determinó en agua de cola y líquido residual, se aplicó el método del electrodo recomendado por el IPT (1982), el cual consistió en colocar la muestra en un vaso de precipitado, usando una cantidad que cubría el sensor del electrodo, se sumergió el electrodo, se encendió el equipo y se realizó la lectura (Pizardi, 2010).

Determinación de DQO y DBO₅

Se determinó en agua de cola, lodo recuperado y líquido residual de acuerdo a los métodos estandarizados EPA 405.1600/4-79-020 y EPA 410.1600/4-79-020, respectivamente.

Determinación de Conductividad eléctrica (C.E.)

La conductividad eléctrica fue tomada directamente con un conductímetro de marca Hanna HI99300-HI99301 el cual fue calibrado según el método descrito en el manual de instrucciones Hanna HI99300-HI99301. Se determinó en agua de cola y líquido residual, el procedimiento consistió en tomar 20 ml de la muestra de agua de cola y medir directamente con el conductímetro; en el caso del líquido residual se procedió a extraer 20 ml de este con una jeringa hipodérmica y se realizó la lectura con el conductímetro.

Determinación de Turbiedad

Se determinó en agua de cola y líquido residual, se empleó el método Nefelométrico, descrito en el manual del usuario del equipo HACH 2100 Q, el procedimiento consistió en extraer 20 ml de las muestras de agua de cola y líquido residual luego se trasvasó a los tubos nefelométricos y luego introducir estos en el turbidímetro, y se procedió con la lectura.

Determinación de Histamina

Se determinó en agua de cola, lodo recuperado, líquido residual y sólidos recuperados (lodo 8-10% de humedad), se empleó el método ICB-005 (Validado) (2012). Determinación de histamina en productos hidrobiológicos por HPLC.

3.3.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Determinación de *Escherichia coli*

Se determinó en el agua de cola, el lodo recuperado y el líquido residual, se empleó el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF (2005), el cual consistió en tomar cinco diluciones de la muestra, empleándose el medio caldo lactosado verde brillante bilis(CLUBB), confirmándose con (CLUBB) y caldo nutritivo.

Determinación de *Salmonella sp*

Se determinó en agua de cola, lodo recuperado y líquido residual, se empleó el método del Número más probable (NMP) usando tubos seriados por triplicado SMEWW-APHA-AWWA-WEF(2006).

3.3.3 EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN/ FLOCUACIÓN DEL AGUA DE COLA

Se realizó durante el tratamiento del agua de cola con el coagulante/floculante, en la evaluación se tomó en cuenta el aspecto del lodo recuperado, en especial del floc y el aspecto del líquido residual. Para ello se estimó la forma del tamaño del floc producido en la coagulación/floculación y el aspecto del líquido residual, utilizándose el Índice de Willcomb para caracterización de flocos (Arboleda, 1992), conjuntamente tomando como referencia la estimación de la “Calificación del Precipitado del Agua de Cola” propuesto por Rodríguez (2002).

3.3.4 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Para cada etapa experimental, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) y/o en arreglo factorial según el objetivo de cada una de ellas, se utilizó como herramienta el paquete estadístico Statistical Analysis System–SAS, en el cual se consideraron 4 repeticiones y un error alfa de 5%, se utilizó la prueba de comparación de medias (Tukey).

3.4 PARTE EXPERIMENTAL

La metodología seguida para la realización del presente trabajo de investigación, se muestra en la Figura 7 y se tomó como referencia el trabajo de investigación realizado por Rodríguez (2002) .

El procedimiento seguido fue el siguiente:

La muestra de agua de cola fue homogeneizada con una bagueta y se trasvasó a vasos de precipitación previamente rotulados a los cuales se les adicionaron 100 ml del agua de cola. Una vez llenos los vasos se trasladaron al equipo de jarras–test Lovibond Wet, el cual consta de 4 palas las cuales tienen una velocidad de giro comprendida entre 0 y 300 rpm (Figura8).

El agua de cola se llevó a 200 rpm y se adicionó el coagulante por espacio de un minuto y medio, siendo esta etapa la mezcla rápida.

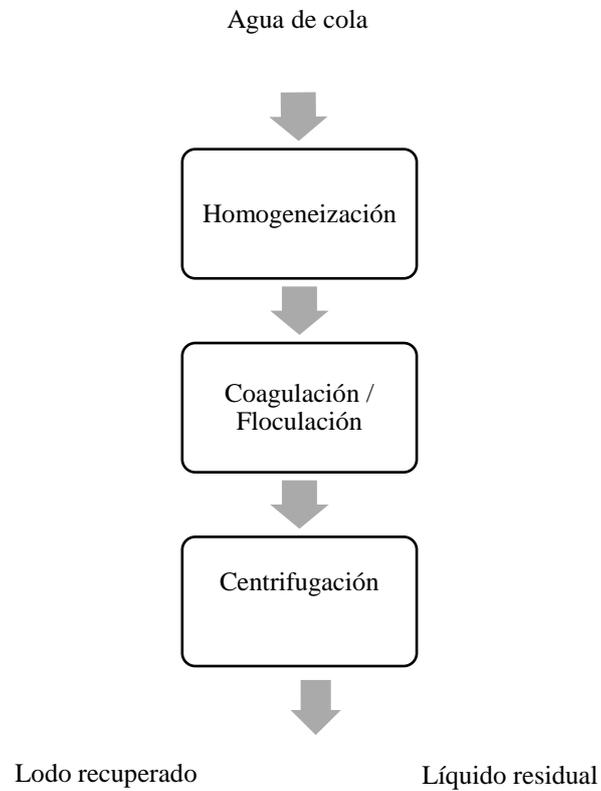


Figura 7: Metodología experimental para la recuperación de sólidos en el tratamiento por coagulación/floculación del agua de cola



Figura 8: Equipo de jarras Lovibond Wet

Después del periodo de mezcla rápida, se adicionó el floculante a la misma velocidad; una vez disperso todo el floculante se redujo la velocidad, hasta 50 rpm por 30 minutos, para permitir así el crecimiento del floc manifestándose en esta etapa la mezcla lenta. Transcurrido ese tiempo, se extrajo 30ml de la muestra de cada vaso precipitado con una jeringa hipodérmica y se colocó en tubos de centrifuga. Se llevó a la centrifuga Hettich Universal a 2500 rpm por espacio de 15 minutos obteniéndose dos fases el líquido residual y el sólido recuperado, los cuales fueron evaluados cualitativamente y cuantitativamente.

El presente trabajo de investigación se realizó en cinco etapas experimentales las mismas que se describen a continuación:

3.4.1 PRIMERA ETAPA: EVALUACIÓN DE COAGULANTES/FLOCULANTES NATURALES

El Diseño experimental se muestra en la Figura 9. Se utilizaron 10 muestras de coagulantes/floculantes designados como compuestos: A, B, C, 2, Q, T, 2T, H, R y T1.

Se utilizó un tubo de ensayo para la mezcla de 9 ml de agua de cola y 1 ml de compuesto, posteriormente fue agitado manualmente por un minuto y dejado en reposo para su observación. La evaluación fue de tipo cualitativa y tuvo como objetivo seleccionar dos compuestos con mejores resultados considerando los siguientes aspectos recomendado por Rodríguez (2002) en la Calificación del precipitado y Eckenfelder (1989) con el Índice de Willcomb:

- Color del sobrenadante obtenido, debiendo ser amarillo cristalino libre de impurezas.
- Formación del precipitado obtenido, pues este debía ser grande, compacto y abundante.
- La rapidez con que se formaba el floc, medible a través del tiempo el cual debía ser el menor posible.

Los compuestos con mejores resultados fueron identificados como Compuestos C y H los cuales fueron trabajados en el desarrollo de las siguientes etapas experimentales.

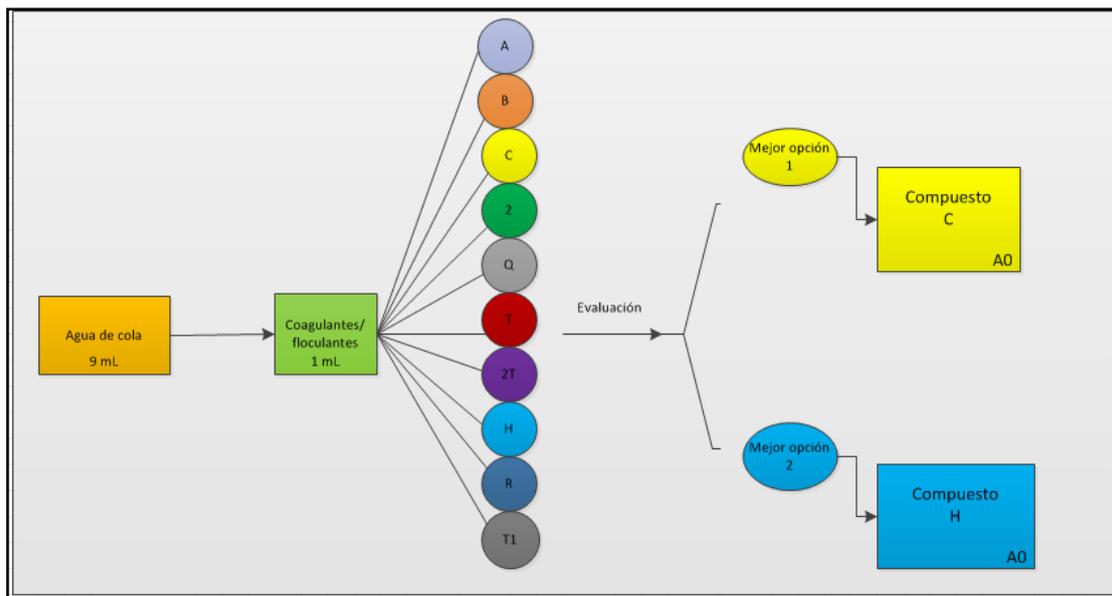


Figura 9: Diseño experimental para evaluar y seleccionar dos compuestos en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola

Los compuestos seleccionados e identificados como Compuesto C y Compuesto H fueron evaluados de manera individual en el proceso de coagulación y floculación a las dosis de 1ml, 2.5ml, 5ml y 10ml en 100 ml de agua de cola, tal como se muestra en el Cuadro 6 y Figura 10.

Cuadro 6: Relación de tratamientos con los compuestos seleccionados en el proceso de coagulación y floculación del agua de cola

Coagulante /floculante	Dosis (ml)	Tratamientos (T)
Compuesto C	1.0	T ₁
	2.5	T ₂
	5.0	T ₃
	10.0	T ₄
Compuesto H	1.0	T ₅
	2.5	T ₆
	5.0	T ₇
	10.0	T ₈

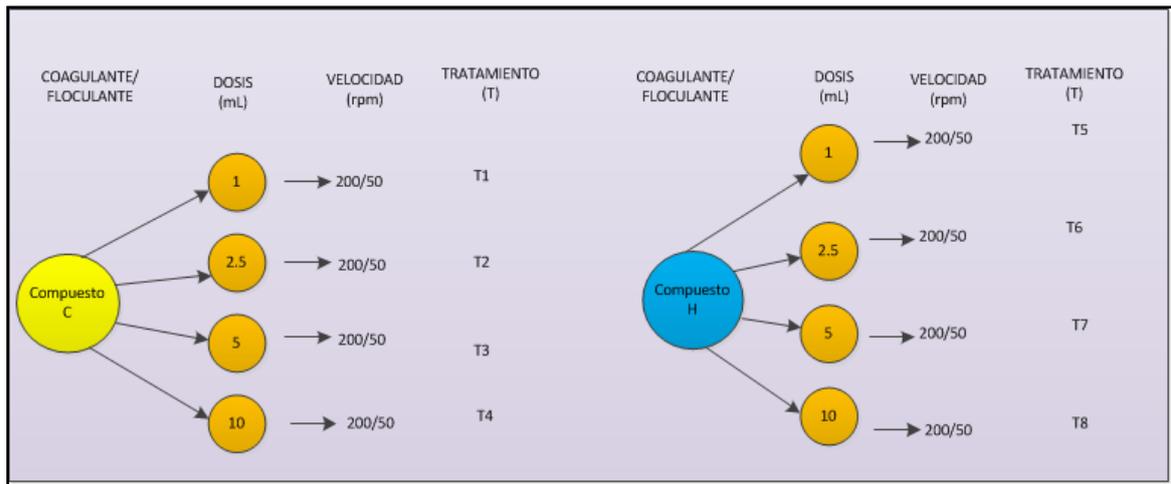


Figura 10: Diseño experimental para evaluación de compuestos seleccionados

El diseño experimental que se aplicó fue el Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo factorial 2x4, con 4 repeticiones siendo 2 el tipo de compuesto y 4 las dosis, y se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey.

3.4.2 SEGUNDA ETAPA: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPUESTOS C Y H EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA

El Diseño experimental se muestra en la Figura 11. El objetivo de esta etapa fue determinar el comportamiento de los compuestos C y H como coagulante o floculante, según el orden de mezclado con el agua de cola. Los tratamientos realizados consistieron en realizar pruebas de interrelación entre ambos compuestos (Cuadro 7).

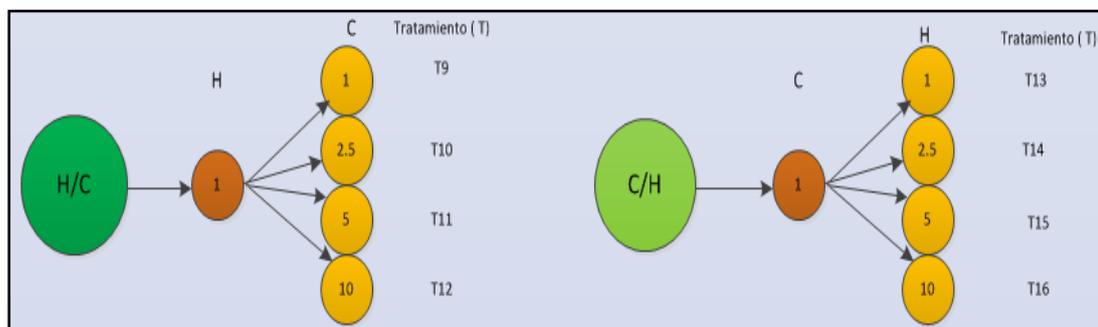


Figura 11: Diseño Experimental para la determinación del comportamiento de los compuestos C y H, en el proceso de coagulación/floculación

Cuadro 7: Relación de Tratamientos para determinar el orden de los compuestos en el proceso de coagulación y floculación

Coagulante/Floculante		Tratamiento (T)
Compuesto H	Compuesto C	
1 ml	1.0 ml	T ₉
	2.5 ml	T ₁₀
	5.0 ml	T ₁₁
	10.0 ml	T ₁₂
Coagulante/Floculante		Tratamiento (T)
Compuesto C	Compuesto H	
1 ml	1.0 ml	T ₁₃
	2.5 ml	T ₁₄
	5.0 ml	T ₁₅
	10.0 ml	T ₁₆

En el diseño experimental se aplicó el diseño completamente al azar en arreglo factorial 2x1x4 y la prueba Tukey para la comparación de medias, siendo 2 el tipo de Compuesto C/H o H/C, a una dosis específica y 4 a diferentes dosis.

3.4.3 TERCERA ETAPA: DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES ÓPTIMAS DE LOS COMPUESTOS C Y H EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN /FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA

El Diseño experimental se muestra en la Figura 12. Con el orden de mezclado del agua de cola con los compuestos C y H, definidos en el experimento anterior, el objetivo de la tercera etapa fue determinar las cantidades más adecuadas de los compuestos C y H en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola, para ello se ensayaron diferentes cantidades del coagulante con diferentes cantidades del floculante en el tratamiento del agua de cola (Cuadro 8).

Las condiciones de mezclado se realizaron al medio ambiente y se trabajó en el test de jarras con vasos de 500 ml.

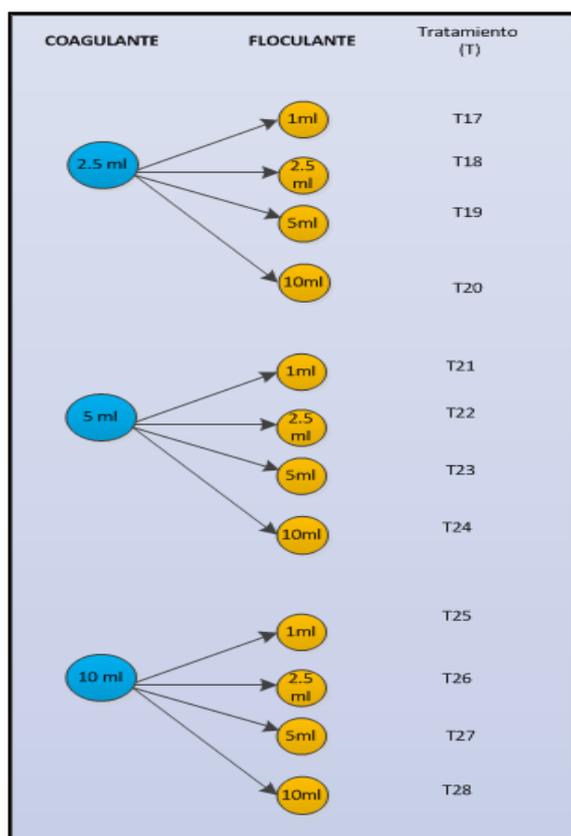


Figura 12: Diseño Experimental para determinar las cantidades de coagulante y floculante en el tratamiento del agua de cola

Cuadro 8: Relación de tratamientos para determinar las cantidades óptimas de coagulante y floculante en el tratamiento del agua de cola

Coagulante	Floculante	Tratamiento (T)
2.5 ml	1.0 ml	T ₁₇
	2.5 ml	T ₁₈
	5.0 ml	T ₁₉
	10.0 ml	T ₂₀
5.0 ml	1.0 ml	T ₂₁
	2.5 ml	T ₂₂
	5.0 ml	T ₂₃
	10.0 ml	T ₂₄
10.0 ml	1.0 ml	T ₂₅
	2.5 ml	T ₂₆
	5.0 ml	T ₂₇
	10.0 ml	T ₂₈

Se aplicó el DCA en arreglo factorial 3x4 y la prueba de comparación de medias de Tukey, siendo 3 las dosis del coagulante y 4 las diferentes cantidades del floculante.

3.4.4 CUARTA ETAPA: DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE MEZCLA RÁPIDA EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA

El Diseño experimental se muestra en la Figura 13. Se utilizaron las velocidades de 100 rpm, 200 rpm, 250 rpm, 280 rpm y 300 rpm; el procedimiento realizado fue el siguiente: En un vaso de precipitado previamente identificado se adicionó 100 ml del agua de cola, se llevó al test jarras a una velocidad alta para una simple agitación, luego de ello se reguló manualmente a la velocidad deseada y se adicionó el coagulante, el tiempo de agitación fue de 1.5 minutos según estudios realizados por Correa (2002) y Rodríguez (2002). Luego de la coagulación, en la etapa de floculación se bajó la velocidad a 50 rpm para favorecer el crecimiento de los floc, según los estudios realizados por Eckflender (1989) y Correa (2002).

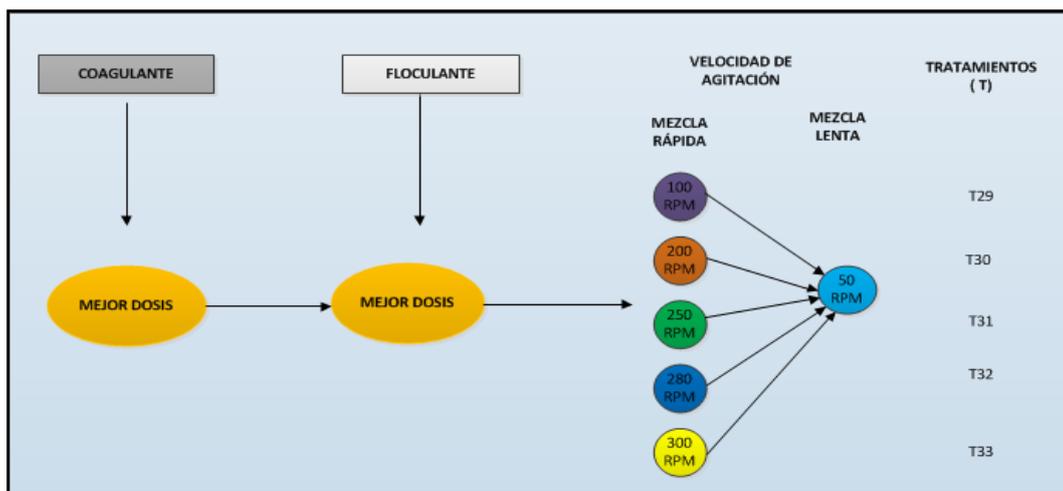


Figura 13: Diseño experimental para determinar la velocidad de agitación de la mezcla rápida con el coagulante

El cuadro 9 muestra los tratamientos que se realizaron con el coagulante y floculante seleccionado en las cantidades adecuadas y las diferentes velocidades ensayadas para obtener la velocidad de agitación rápida más adecuada.

El diseño experimental que se aplicó en esta etapa fue DCA con 5 tratamientos los cuales corresponden a la velocidad de agitación de mezcla rápida, se aplicó la prueba de Tukey.

Cuadro 9: Relación de tratamientos para la determinación de la velocidad de agitación en la mezcla rápida

Velocidad (rpm)		Cantidad (mL)		Tratamiento
Mezcla rápida	Mezcla lenta	Coagulante	Floculante	(T)
100	50	Mejor tratamiento Etapa 3	Mejor tratamiento Etapa 3	T ₂₉
200	50			T ₃₀
250	50			T ₃₁
280	50			T ₃₂
300	50			T ₃₃

3.4.5 QUINTA ETAPA: EVALUACIÓN DE LA DECANTACIÓN NATURAL Y USO DE CENTRIFUGACIÓN EN EL LÍQUIDO RESIDUAL DEL AGUA DE COLA TRATADA CON COAGULANTE/FLOCULANTE SELECCIONADOS

El objetivo de esta etapa fue evaluar la decantación natural (sedimentación) y la centrifugación en el líquido residual del proceso de coagulación/floculación del agua de cola, El procedimiento se muestra en la Figura 14

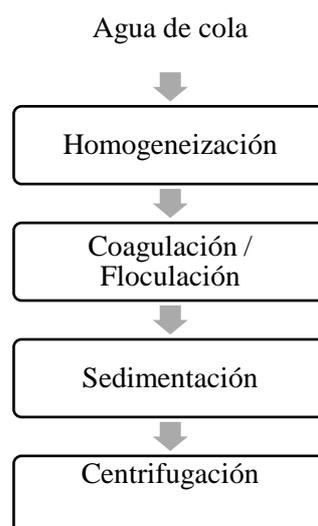


Figura 14: Evaluación de decantación natural y centrifugación en separación de líquido residual del agua de cola tratada con coagulante y floculante seleccionado

El procedimiento fue el siguiente: En vasos de precipitado se adicionó 100 ml del agua de cola y se llevó al test de jarras, a alta velocidad para permitir la homogenización y luego se dio inicio a la etapa de coagulación, se adiciono el coagulante a 200rpm por 1.5 minutos y en la etapa de floculación el floculante a 50 rpm por espacio de 30 minutos, transcurrido ese tiempo se dejó sedimentar sin agitación mecánica por 60 minutos , luego con ayuda de una jeringa hipodérmica se extrajo 30 ml del líquido residual al cual se le midió pH,temperatura,conductividad eléctrica y turbidez. El líquido residual extraído se llevó a centrifugar a 2500 rpm por 15 minutos,luego de ello se midió nuevamente temperatura, pH, conductividad eléctrica y turbidez.

El diseño experimental que se aplicó en esta etapa fue estadística básica descriptiva, se determinó la media, desviación estándar, coeficiente correlación en ambos procedimientos.

3.5 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN

Para estimar la cantidad de sólidos recuperados en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola tratada con floculantes naturales, se realizó un balance de materia con 30 L de materia prima (Figura 15).

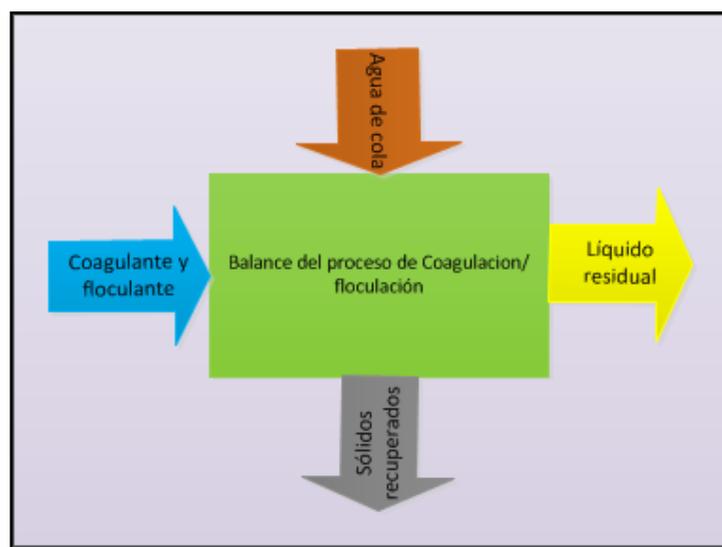


Figura 15: Esquema del Balance de Materia en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MATERIA PRIMA

La materia prima fue agua de cola de anchoveta (*Engraulis ringens*) procedente de la plantade harina y aceite de pescado de la Empresa Pesquera Hayduk S.A. (Végueta). La muestra fue recepcionada en envases de plástico y en condiciones de congelación(Figuras 16 y 17).



Figura 16: Recepción de agua de cola envasada



Figura 17: Muestra de agua de cola

Los resultados de la evaluación organoléptica se enmarcaron en tres ítemes. El primer ítem se refiere al olor según su procedencia, si bien sólo pudo haberse clasificado como un olor a pescado típico de aguas oceánicas y de cultivos piscícolas, el olor de esta muestra también encajó a pícrico que es típico de lixiviados de residuos sólidos y de aguas procedentes de plantas de tratamiento. El segundo ítem que se evaluó fue el color , la muestra como se observa en la figura 17 presentó color gris, siendo clasificada como café u oscuras típico de aguas con altos contenidos de materia orgánica.El tercer ítem que se evaluó fue el aspecto de la muestra refiriéndose al grado de homogeneidad o consistencia de la muestra describiéndose así la presencia de sólidos sedimentables.

Cuadro 10: Composición físico química y microbiológica de la muestra de agua de cola de anchoveta (*Engraulis ringens*)

Análisis/Parámetro	Unidades	Valor reportado
Humedad	%	90,6
Sólidos totales (S.T)	%	9.00
Grasa cruda	%	0,325
DQO	mg/L	109,560
DBO ₅	mg/L	82,000
Histamina	ppm	62,16
Turbiedad	NTU	33,838
pH	--	6.13
Temperatura	°C	22.25
Conductividad eléctrica (C.E)	mS/cm	24.73
Numeración de <i>E. coli</i>	NMP/100ml	<1.8
Detección de Salmonella	---	Ausencia/100ml

En el cuadro 10 se observa que los porcentajes obtenidos de humedad, sólidos y grasa se encuentran dentro de los rangos de variación de la composición química del agua de cola reportado por otros autores (Cuadro 2). Rodríguez (2002) menciona que el rango de los componentes del agua de cola varía considerablemente dependiendo de factores tales como: estado de frescura de la materia prima, tamaño, así como de las condiciones de operación de la planta y del estado de los equipos. Asimismo, Tornes y George (1970) y Alcoces *et al.*, (1983) señalan otros factores importantes como al tiempo de almacenamiento y la naturaleza del pescado que se trabaja. Valencia (1979) menciona que una materia prima en avanzado estado de descomposición provoca normalmente un aumento de los sólidos totales. Los valores reportados de sólidos totales se encuentran dentro del rango 6 a 10 por ciento, reportado por Escudero (1972).

La relación DBO₅/ DQO fue 0.75, lo que indicó que el 75 % de la materia orgánica puede ser degradado por microorganismos en 5 días a temperatura ambiente. El nivel de histamina encontrado en la muestra fue de 62,16 ppm el cual se encuentra dentro del rango de valores permitidos para harinas especiales. Jarpa (1995) resalta que, según la especie, el efecto de la calidad biotóxica dependerá del contenido de histidina, siendo aquellos

pescados de carne roja los de mayor contenido de este aminoácido estructural, al respecto Albrecht y Salas(2003) mencionan que la formación de histamina es resultado del mal manipuleo y una mala preservación del pescado; generalmente pescados almacenados en lugares con poca higiene y a temperaturas por encima de las de refrigeración en tiempos prolongados, son susceptibles a formar grandes cantidades de histamina, siempre que presenten histidina libre en sus músculos. Por los resultados en la muestra de agua de cola trabajada, estos valores de histamina están dentro del rango permitido, lo que nos indicó la adecuada frescura de la materia prima y el buen proceso realizado.

La turbiedad fue de 33,838 NTU, lo cual indicó que la muestra presentó una alta carga orgánica con elevado material coloidal suspendido, destacando la presencia de sólidos suspendidos en el cual la velocidad de sedimentación por medios naturales es tan baja que se requiere de tratamientos químicos. El pH del agua de cola fue 6.13 muy cercano al neutro; la temperatura promedio fue de 22.3°C y la conductividad eléctrica fue de 24.73mS/cm, siendo este un indicador de la presencia de sales en la muestra, lo cual no es bueno ya que, se espera tener un agua de cola con la menor cantidad de sales, pues su presencia no enriquece a la harina.

El análisis de numeración de *Escherichia coli* en la muestra arrojó valores menores <1.8, lo cual es un indicador de que la materia prima ha sido trabajada en buenas condiciones de higiene, ya que, la presencia de éste es un índice de contaminación fecal producto de tratamientos inadecuados.

No se detectó *Salmonella sp* en la muestra de agua de cola.

Según la legislación vigente que regula la actividad pesquera para efluentes de la industria de Harina y Aceite de pescado “Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias” - D.S. N° 010-2008-PRODUCE; los valores presentados en el Cuadro 10, se encuentran dentro del rango de valores establecidos en la presente norma en cuanto a pH y grasas, sin embargo se debe mencionar que los resultados presentados hacen referencia al agua de cola antes de ser tratada y no como un efluente del proceso que se descarga directamente al mar. Asimismo el Ministerio de Vivienda regula los valores máximos admisibles para el sector saneamiento en referencia a las descargas de aguas residuales no domésticas en los

sistemas de alcantarillado sanitario, regulando los parámetros de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, los resultados reportados para la muestra de agua de cola se encontraron fuera del máximo permitido, por lo que se entiende que se debe tratar antes de su descarte o eliminación.

4.2 PARTE EXPERIMENTAL

4.2.1 EVALUACIÓN DE COAGULANTES/FLOCULANTES NATURALES

Inicialmente, la elección de los coagulantes/floculantes se basó en tres criterios, las características del precipitado obtenido, la rapidez de su formación y el color del líquido residual. Los resultados del tratamiento del agua de cola con los diferentes coagulantes/floculantes se muestran en el cuadro 11 y Figura 18 y 19.

Cuadro 11: Resultados organolépticos del tratamiento del agua de cola con diferentes compuestos (coagulantes/floculantes)

Compuestos	Formación de precipitado	Color de líquido residual	Rapidez en formación de precipitado
A	Floc compacto	Amarillo tenue	Mayor a 60 seg.
B	Floc compacto	Amarillo tenue	Mayor a 60 seg.
C	Floc compacto	Amarillo tenue	Menor a 60 seg.
2	Floc Semi-compacto	Amarillo intenso	Mayor a 60 seg.
Q	Floc inestable	Amarillo intenso	Mayor a 60 seg.
T	Floc Semi-compacto	Amarillo opaco	Mayor a 60 seg.
2T	Floc difuso	Amarillo opaco	Mayor a 60 seg.
H	Floc compacto	Amarillo cristalino	Menor a 60 seg.
R	Floc Semi-compacto	Amarillo opaco	Mayor a 60seg.
T1	Floc Semi-compacto	Amarillo tenue	Mayor a 60seg

Se pudo observar que los compuestos usados A, B, 2, Q, T, 2T, no produjeron una buena precipitación de los sólidos, pues aún dejaron ver en el sobrenadante gran cantidad de sólidos en suspensión, asimismo el desarrollo del floc, en los tratamientos, con 2Q, 2QT y AQT1 no estaba bien definido, pues era muy inestable, de otro lado el empleo de los compuestos C y H (ver Figura 19) lograron una buena precipitación de los sólidos que se

manifestó en el floc formado, además el sobrenadante que se dejó ver fue amarillo tenue y cristalino.

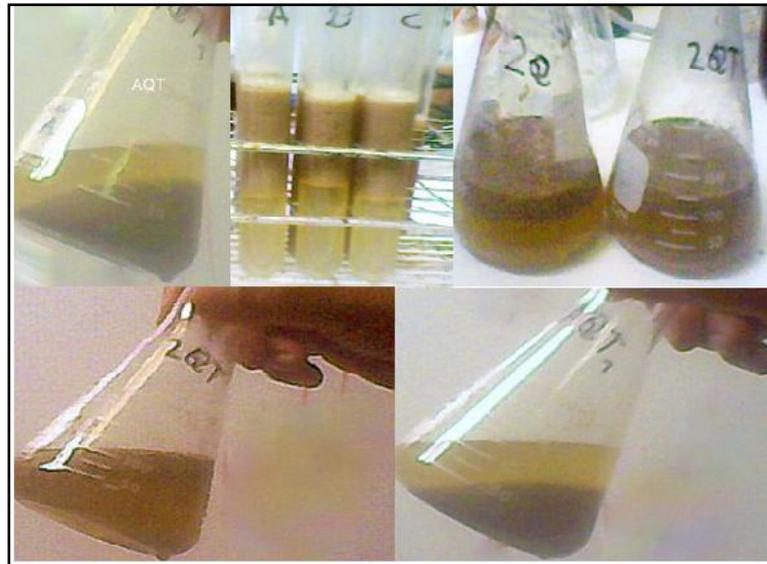


Figura 18: Precipitado de sólidos en el agua de cola tratada utilizando diferentes coagulantes/floculantes

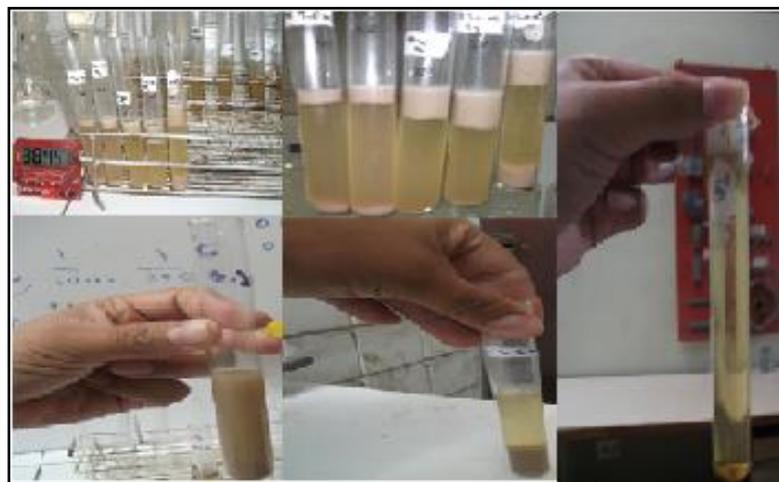


Figura 19: Precipitado de sólidos en el agua de cola tratada utilizando los coagulantes/floculantes C y H

Los mejores resultados organolépticos correspondieron a los compuestos identificados como Compuesto C y Compuesto H. Definido los compuestos de mejor resultado para el tratamiento del agua de cola, se comprobó la eficacia de los compuestos C y H de forma individual a diferentes cantidades.

En los cuadros 12 y 13y Figura 20 se muestran los resultados de los tratamientos utilizando diferentes cantidadesdel Compuesto C.

Cuadro 12: Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando el Compuesto C a diferentes cantidades

Tratamiento (T)	Coagulante/ Floculante	Cantidad (ml)	pH final	C.E (mS/cm)	Turbiedad (NTU)	Remoción Turbiedad (%)
T ₁	Compuesto C	1.0	6.05	23.93	6,048	82.1
T ₂		2.5	6.29	25.00	6,268	81.5
T ₃		5.0	6.29	24.08	4,860	85.6
T ₄		10.0	6.29	23.00	5,493	83.8

Cuadro 13: Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola tratada utilizando el compuesto C a diferentes cantidades

Tratamiento (T)	Coagulante/ Floculante	Cantidad (ml)	Willcomb	Calificación del precipitado
T ₁	Compuesto C	1.0	2	E
T ₂		2.5	4	E
T ₃		5.0	4	D
T ₄		10.0	4	D



Figura 20: Evaluación de diferentes cantidades del Compuesto C en el tratamiento de agua de cola

Del Cuadro 12 se observa que la medida de turbiedad (NTU) no presenta relación con las cantidades de Compuesto C adicionada; con los tratamientos T_1 y T_2 la turbiedad aumenta a medida que se incrementa las cantidades del compuesto C, con el tratamiento T_3 se obtiene el valor más bajo de turbiedad residual ; sin embargo con el tratamiento T_4 , cuando se aplica cantidades por encima de 5 ml la turbiedad residual aumenta (Figura 21), al respecto Causa y Pinto (1974) refieren que utilizando valores superiores a 5 ml del coagulante en soluciones de 1 a 10 por ciento se produce una re estabilización de algunos coloides, que provocan que las partículas se queden en suspensión formando microfloculos y por ende la lectura de turbidez sea elevada.

En el Cuadro 13 se observa la calificación organoléptica asignada para estos tratamientos, para el tratamiento T_1 la calificación con el índice de Willcomb (Eckenfelder, 1989) fue 2 y con Rodríguez (2002) fue E, en los tratamientos T_2 , T_3 y T_4 no hubo diferencia en la calificación con el índice de Willcomb (Eckenfelder, 1989) en tanto que con Rodríguez (2002) fue E y D, a ello el tratamiento T_3 que mostró el valor más bajo de turbiedad 4,860 NTU, fue calificado como D, como se ve en la figura 21 en el ensayo se observó que la precipitación fue lenta y el líquido residual fue opaco con presencia de sólidos en suspensión; por otro lado la calificación que se obtuvo con el índice de Willcomb (Eckenfelder, 1989) fue 4 clasificándolo como disperso si bien el floculo está bien formado y uniformemente distribuido pero sedimenta muy lento.



Figura 21: Precipitado en el agua de cola tratada empleando diferentes cantidades de Compuesto C

De otro lado el porcentaje de remoción de turbiedad que se logró, utilizando diferentes cantidades del Compuesto C, fue por encima del 80 por ciento llegando a ser de 85.3 por ciento con el tratamiento T₃, cuando la cantidad de Compuesto C fue 5 ml, como se observa en la Figura 22 y comienza a disminuir para cantidades mayores de coagulante, asimismo el pH llega a ser estable (6.29) con dosis de 5 ml de coagulante y aunque se incremente esta dosis hasta 10ml el pH permanece inalterable, si se considera que el pH inicial de la muestra fue 6.13 (cuadro 10) y que luego al tratarse con el coagulante C este sufrió un ligero incremento, lo cual es bueno, ya que, el pH es un factor muy importante para el proceso de coagulación y floculación. Primero, porque es deseable que su valor no cambie y segundo, porque se desea que el pH final se acerque a la neutralidad después de este tratamiento.

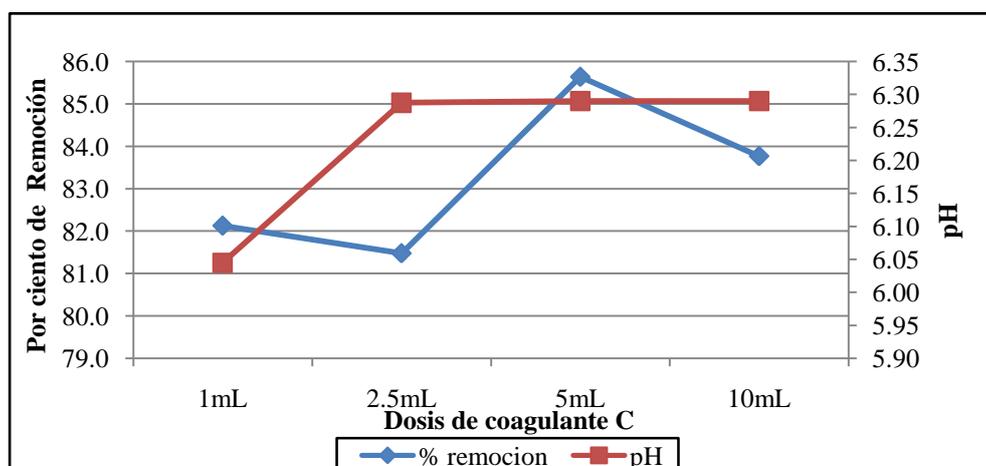


Figura 22: Relación de las cantidades del Compuesto C y pH en el agua de cola tratada

En la Figura 23 se observa la relación del porcentaje de remoción, cantidad del Compuesto C y conductividad eléctrica, donde el porcentaje máximo de remoción sucede cuando la dosis es de 5ml y la conductividad es de 24.08 mS/cm, la cantidad de sales medida como conductividad como se ve en el Cuadro 12 comparándola con la conductividad inicial (24.73 mS/cm) con la que se obtiene en el proceso de coagulación son muy cercanas lo que indicaría que la mayor cantidad de sales se la estaría llevando el líquido residual y dejando en el sólido una cantidad mínima.

En los Cuadros 14 y 15 se muestran los resultados obtenidos utilizando el Compuesto H, el Cuadro 14 muestra los valores cuantitativos de turbiedad residual, pH, conductividad ; las muestras fueron trabajadas a temperatura ambiental de 23.3°C y en el Cuadro 15 la calificación cualitativa.

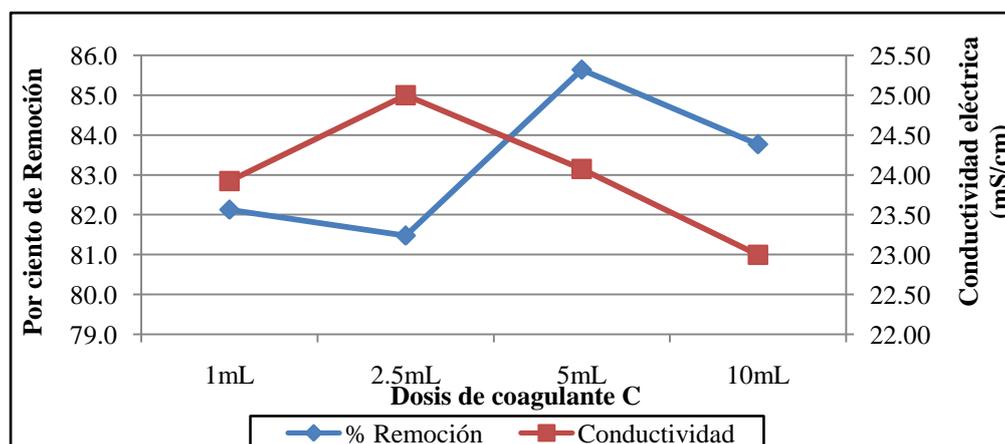


Figura 23: Relación de la cantidad del Compuesto C con la remoción de la turbiedad y conductividad eléctrica en el agua tratada

Cuadro 14: Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando el Compuesto H a diferentes cantidades

Tratamiento (T)	Coagulante/ floculante	Cantidad (ml)	pH final	C.E (mS/cm)	Turbiedad (NTU)	Por ciento Remoción Turbiedad
T ₅	Compuesto H	1.0	6.16	25.3	3,376	90.0
T ₆		2.5	6.10	24.4	1,773	94.8
T ₇		5.0	6.06	24.3	736.25	97.8
T ₈		10.0	5.90	23.8	789.75	97.7

Cuadro 15: Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola tratada utilizando el Compuesto H a diferentes cantidades

Tratamiento (T)	Coagulante/floculante	Cantidad (ml)	Willcomb	Calificación del precipitado
T ₅	Compuesto H	1.0	2	D
T ₆		2.5	4	C
T ₇		5.0	10	A
T ₈		10.0	8	B

Del Cuadro 14, los tratamientos T₅ y T₆ muestran que la turbiedad residual disminuye a medida que se aumenta la dosis del coagulante H, el tratamiento T₇ donde se aplica 5 ml del Compuesto H, sigue un mismo patrón; sin embargo con el tratamiento T₈ (10 ml del Compuesto H) la turbiedad residual sufre un ligero incremento de 736 NTU a 789.75 NTU. Andía (2000) reporta que cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se conduce a la re estabilización de la carga de la partícula, así pues al aumentar aún más la dosis, hasta producir una súper saturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad, al parecer ello se presentó con el tratamiento que utilizó 10 ml de Compuesto H. El tratamiento T₇ presentó el más alto porcentaje de remoción de turbiedad con un valor de 97.8 %.

La calificación organoléptica del precipitado para el tratamiento T₈ con Willcomb (Eckenfelder, 1989) fue 8, en el cual el flóculo es caracterizado como excelente, ya que se depositó completamente. Por otro lado, según calificación de precipitado propuesto por Rodríguez (2002), fue calificado de tipo A, donde los floc son grandes, el precipitado es compacto y abundante y el sobrenadante es amarillo cristalino libre de impurezas como se muestra en la Figura 24 y 25.

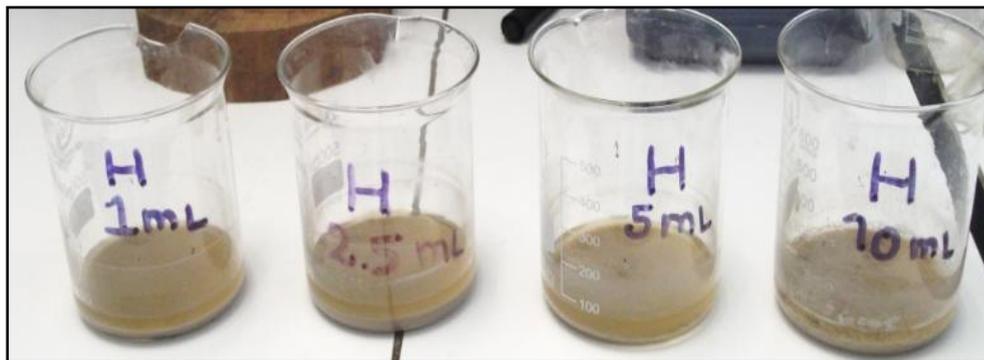


Figura 24: Precipitado de sólidos en el agua de cola tratada utilizando diferentes cantidades del Compuesto H

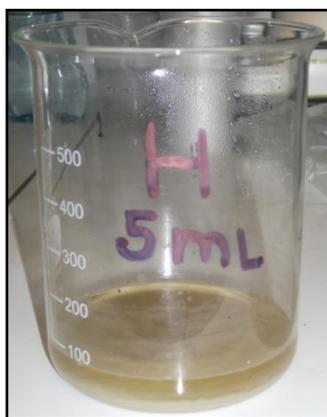


Figura 25 Precipitación de sólidos en el agua de cola tratada utilizando 5 ml del compuesto H

En la Figura 26 se observa que al aumentar la cantidad del Compuesto H, el porcentaje de remoción aumenta y el pH comienza a disminuir, para la cantidad de 5ml el porcentaje de remoción fue del 97.8 % y el pH es 6.06; sin embargo cuando se produce un exceso de coagulante de 10ml el pH desciende a 5.90. En la Figura 27 se muestra que a medida que se incrementa las dosis del coagulante H la conductividad eléctrica disminuye, al parecer cantidades más alta del Compuesto H(10 ml es 23.8mS/cm.) no logran remover las sales presentes en el sobrenadante que con cantidades más bajas (con un 1ml la conductividad fue 25.3 mS/cm y con 5 ml, 24.3 mS/cm).

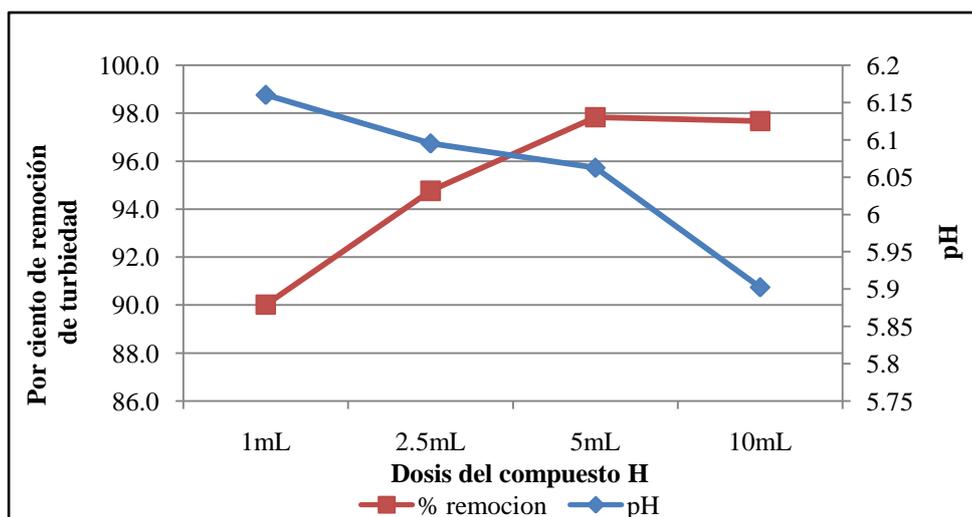


Figura 26: Relación del porcentaje de remoción de turbiedad con la cantidad de Compuesto H en el agua de cola tratada y valores pH

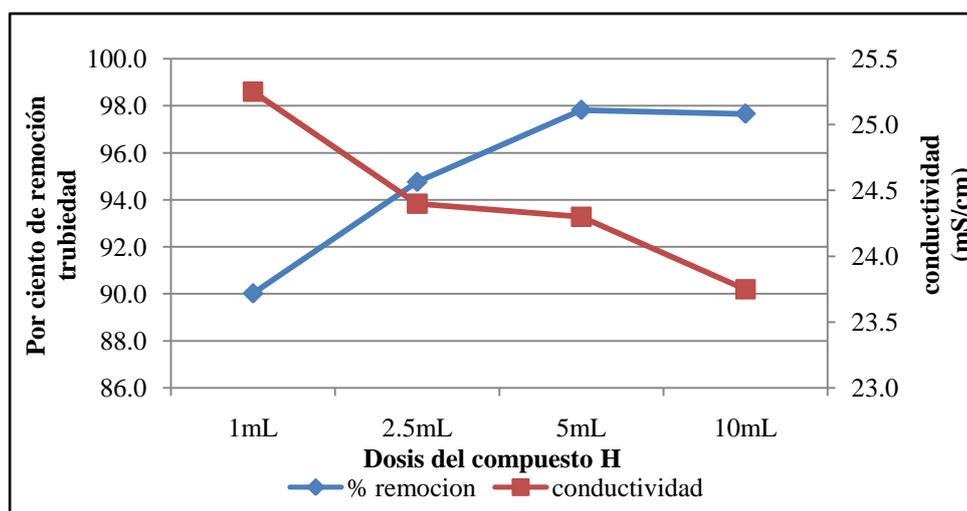


Figura 27: Relación del porcentaje de remoción de turbiedad con la cantidad del Compuesto H en el agua de cola tratada y conductividad eléctrica

El análisis estadístico (Anexo IV) permitió confirmar que para la variable respuesta turbidez el factor tipo de compuesto sea H y/o C es altamente significativo en el tratamiento de agua de cola y no significativo el factor dosis ni la interacción de ambos, para la variable pH el factor dosis resulto ser altamente significativo y no significativo el tipo de compuesto ni la interacción de ambos, en tanto que para las variables conductividad eléctrica y temperatura, el factor tipo de coagulante/floculante sea H y/o C, dosis y la interacción de ambos resulto ser no significativo.

Queda claro que con la prueba de Tukey para las variables turbidez y pH las medias son significativamente diferentes usando los compuestos H y C en cambio para las variables conductividad eléctrica y temperatura la comparación de medias resultó que no eran significativamente diferentes el uso del factor tipo de compuesto sea H y/o C.

Por los resultados encontrados se puede indicar que el análisis estadístico confirma que si existe diferencia entre aplicar el tratamiento de agua de cola con el compuesto H y/o C, es por ello que se debe determinar el comportamiento de estos compuestos en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.

4.2.2 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPUESTOS C Y H EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN/ FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA

En los Cuadros 16 y 17 y Figura 28 se muestran los resultados obtenidos utilizando la mezcla del compuesto H (1 ml) y diferentes cantidades del compuesto C (1.0 ml, 2.5 ml, 5.0 ml y 10.0 ml) en el tratamiento del agua de cola. El Cuadro 16 muestra los valores cuantitativos de turbiedad residual, pH y conductividad; las muestras fueron trabajadas a temperatura ambiental de 23 °C. El Cuadro 17 muestra la calificación cualitativa del proceso de coagulación/floculación del agua de cola.

Cuadro 16: Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando la mezcla del Compuesto H y el Compuesto C (H/C)

Tratamiento (T)	Cantidad Comp. H (ml)	Cantidad Comp. C (ml)	pH final	C.E (mS/cm)	Turbiedad (NTU)	Porcentaje Remoción Turbiedad
T ₉	1.0	1.0	6.25	22.4	5,710	83.1
T ₁₀	1.0	2.5	6.18	24.2	3,460	89.8
T ₁₁	1.0	5.0	6.35	24.7	1,925	94.3
T ₁₂	1.0	10.0	6.43	22.6	5,490	83.8

Cuadro 17: Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola tratada utilizando la mezcla del Compuesto H y el Compuesto C (H/C)

Tratamiento (T)	Cantidad Comp. H (ml)	Cantidad Comp. C (ml)	Willcomb	Calificación del precipitado
T ₉	1.0	1.0	4	D
T ₁₀	1.0	2.5	2	E
T ₁₁	1.0	5.0	2	D
T ₁₂	1.0	10.0	2	D

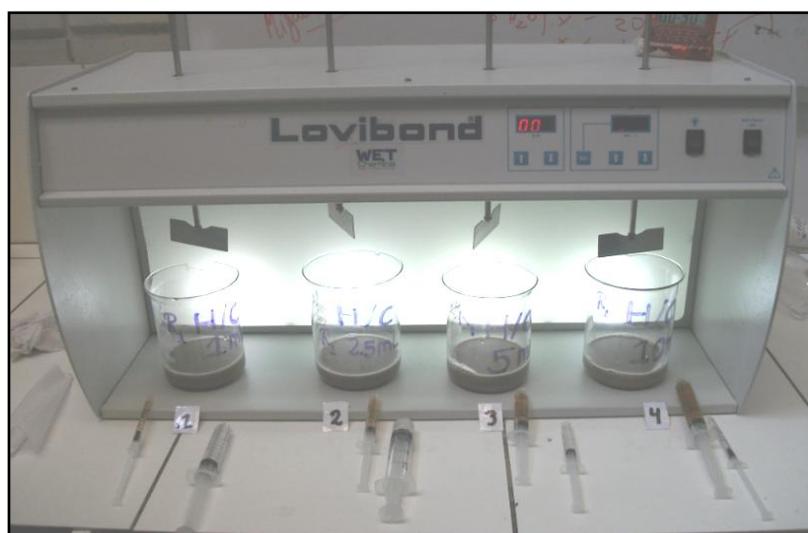


Figura 28: Evaluación de la mezcla del Compuesto H con diferentes cantidades del Compuesto C en el tratamiento de agua de cola

El tratamiento T₁₁ obtuvo el valor más bajo de turbiedad residual, combinando 1 ml del compuesto H con 5 ml del compuesto C se obtuvo 94.3 % de remoción, también se observó que el empleo de ambos compuestos en todos los tratamientos provocó remociones por encima del 83 % (Figura 29).

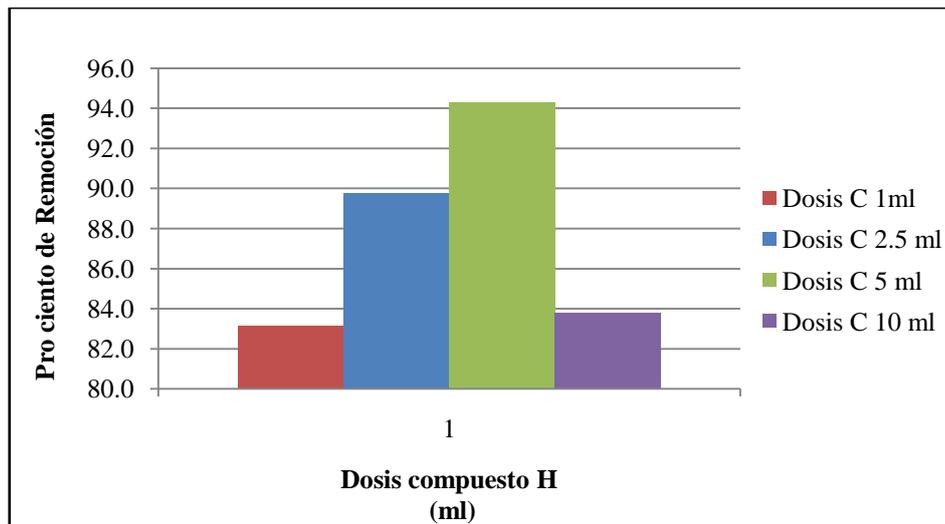


Figura 29: Porcentaje de remoción de turbidez vs mezcla de 1 ml del Compuesto H con diferentes cantidades del Compuesto C en el agua de cola tratada

De otro lado en la Figura 30 se puede ver como varia el pH con 1ml del Compuesto H para diferentes cantidades de Compuesto C. El pH más alto (6.43) se alcanzó con el tratamiento T₁₂, cuando la cantidad del Compuesto C fue 10ml, y el más bajo (6.18) se obtuvo con el tratamiento T₁₀ cuando la dosis de Compuesto C fue 2.5ml, de otro lado la conductividad eléctrica más alta se obtuvo con el tratamiento T₁₁ (Figura 31).

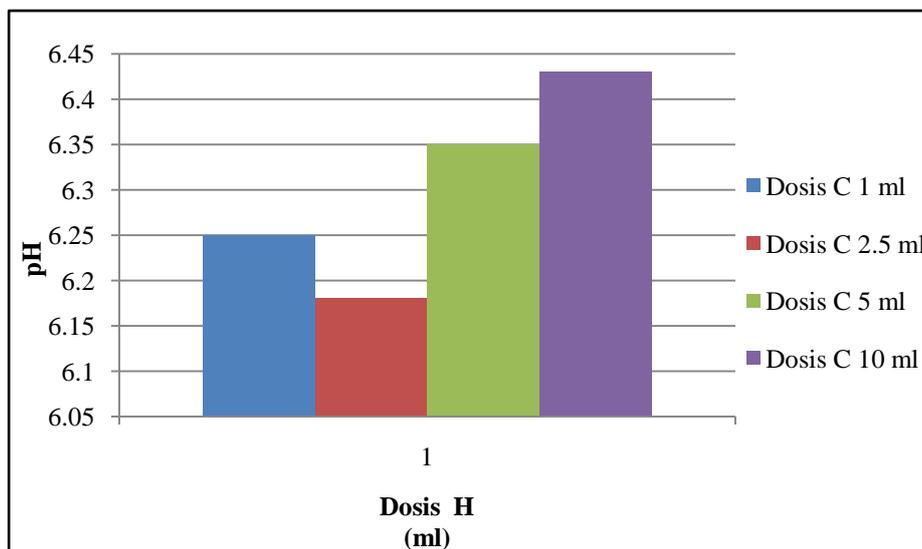


Figura 30: Valores de pH en la mezcla de 1ml del Compuesto H y diferentes cantidades de Compuesto C

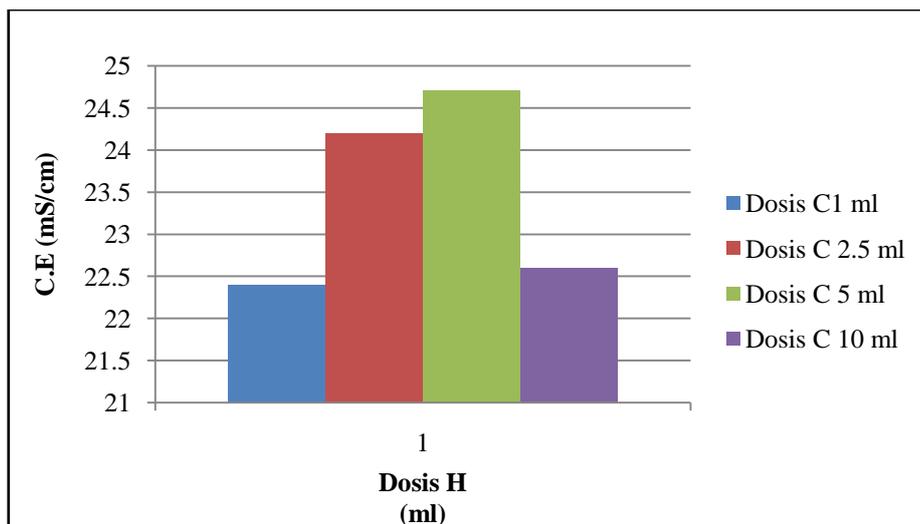


Figura 31: Valores de conductividad eléctrica en la mezcla de 1 ml del compuesto H con diferentes cantidades del Compuesto C

Respecto al análisis organoléptico de los tratamientos (Figura 32) éste indicó que la calificación cualitativa para la caracterización de los flóculos con el índice de Willcomb (Eckenfelder, 1989) para el tratamiento T₁₁ fue 2 calificando como visible donde el flóculo fue muy pequeño, casi imperceptible; con la escala propuesta por Rodríguez (2002) fue de tipo D, donde la precipitación fue lenta se observó flocs difusos y pequeños, líquido residual opaco y con sólidos en suspensión.



Figura 32: Precipitación de sólidos del agua de cola tratada con mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto C

En los cuadros 18 y 19 y Figura 33 se muestran los resultados obtenidos utilizando 1 ml del compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H. El cuadro 18 muestra los

valores cuantitativos de turbiedad residual, conductividad y temperatura y el cuadro 19 la calificación cualitativa del proceso de coagulación/floculación del agua de cola.

Cuadro 18: Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada utilizando la mezcla del Compuesto C y el Compuesto H (C/H)

Tratamiento (T)	Cantidad Comp. C (ml)	Cantidad Comp. H (ml)	pH final	C.E (mS/cm)	Turbiedad (NTU)	Porcentaje Remoción Turbiedad
T ₁₃	1.0	1.0	6.02	22.7	750	97.8
T ₁₄	1.0	2.5	5.97	23.0	1,255	96.3
T ₁₅	1.0	5.0	5.82	23.8	875	97.4
T ₁₆	1.0	10.0	5.49	24.4	1,220	96.4

Cuadro 19: Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola utilizando la mezcla del Compuesto C y Compuesto H (C/H)

Tratamiento (T)	Cantidad Comp. C (ml)	Cantidad Comp. H (ml)	Willcomb	Calificación del precipitado
T ₁₃	1.0	1.0	8	B
T ₁₄	1.0	2.5	4	C
T ₁₅	1.0	5.0	8	B
T ₁₆	1.0	10.0	10	A



Figura 33: Evaluación de la mezcla del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H en el tratamiento de agua de cola

Los resultados de los tratamientos T₁₃ al T₁₆ presentados en los cuadros 18 y 19 permiten observar que fueron mejores a los presentados por los tratamientos T₉ al T₁₂ en los cuadros 16 y 17. La adición inicial del Compuesto C en el agua de cola seguido de la adición del Compuesto H en diferentes cantidades permitió la remoción de turbidez por encima del 96%. El tratamiento T₁₃, que corresponde a la mezcla de 1ml del Compuesto C con 1 ml del compuesto H logró obtener una turbiedad residual de 750 NTU, obteniendo así un 97.8% de remoción (Figura 34). Carpinteyro (2011) reporta una remoción de 52% utilizando el mucilago de nopal como coagulante en el tratamiento de aguas residuales industriales, sólose logró remover hasta el 52%.

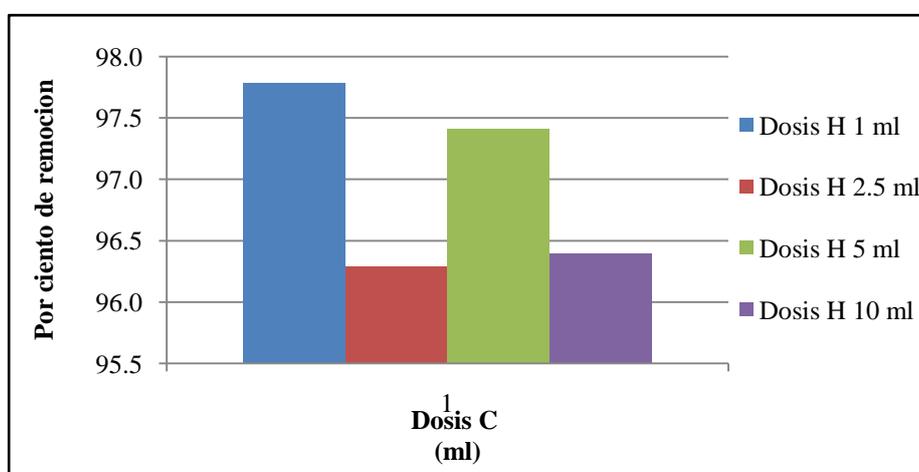


Figura 34: Porcentaje de remoción de turbiedad del agua de cola en la mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H

En la Figura35 se observa que los valores de pH sufren altibajos, obteniéndose el valor más bajo de 5.99 con el tratamiento T₁₄, cuando la dosis del floculante H fue 2.5 ml, en tanto la más alta fue 6.06 con el tratamiento T₁₅, cuando la dosis de floculante H fue 5ml.

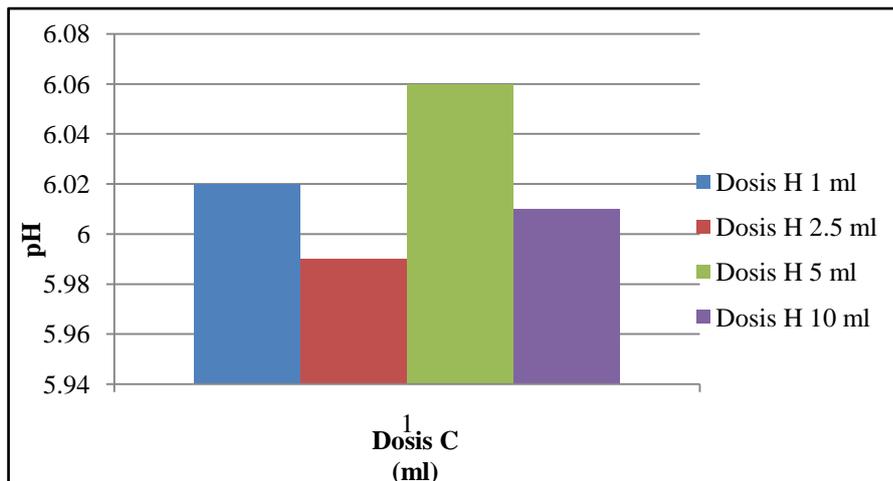


Figura 35: Valores de pH del agua de cola en la mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H

Los resultados de la conductividad eléctrica no sufrieron variaciones entre los tratamientos T₁₃ y T₁₄ pero sí se incrementó entre los tratamientos T₁₅ y T₁₆ al incrementar la dosis del compuesto H de 5 ml a 10 ml, de ello se deduce que mayores cantidades a 5ml no lograron remover la conductividad eléctrica como sí con dosis menores. Al respecto, Arboleda (1981) menciona que dosis excesivas de polielectrolitos producen dispersión en lugar de ayudar a la coagulación, este es el caso de la aplicación de la dosis de 10 ml al producirse un exceso de coagulante género dispersión entre las partículas coloidales que se vio reflejado en su lectura.

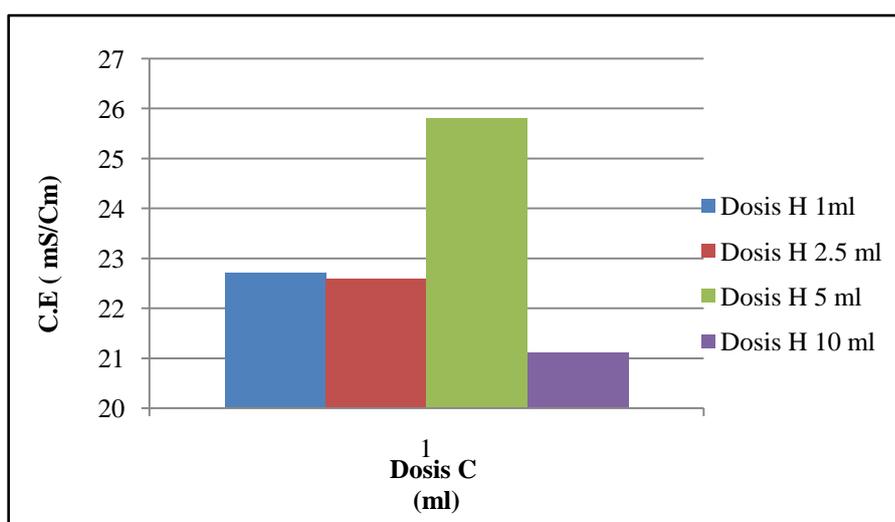


Figura 36: Valores de C.E. del agua de cola en la mezcla de 1 ml del Compuesto C con diferentes cantidades del Compuesto H

Respecto al análisis organoléptico, los tratamientos T₁₃ y T₁₅ según la escala de Willcomb (Eckenfelder, 1989) fueron calificados como buenos con una puntuación de 8 que corresponde a un floc que se deposita fácil pero no completamente. Estos tratamientos con la escala de Rodríguez (2002) fueron calificados como de tipo B donde los flocs son grandes, el precipitado compacto y el líquido residual es algo opaco. El tratamiento T₁₆ según la escala de Wilcomb (Eckenfelder, 1989) y Rodríguez (2002) para la calificación del floc fue calificada como excelente (Figura 37).

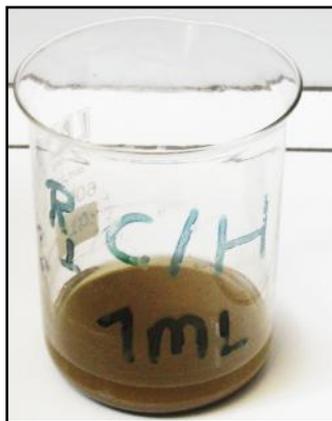


Figura 37: Precipitado de agua de cola usando 1ml del compuesto C con 10 ml Compuesto H

Los mejores resultados de remoción de turbidez en el líquido residual del agua de cola tratada se consiguió con la mezcla del compuesto C como coagulante seguido del Compuesto H como floculante (turbiedad de 750 NTU y remoción de 97.8%).

Asimismo el análisis estadístico determinó que la mejor elección de la combinación de esta segunda etapa fue para la variable turbidez, el factor tipo de coagulante y floculante (C/H) resultando altamente significativo.

Y con la prueba de Tukey se confirmó que los resultados experimentales (Anexo IV) que mejor reflejan el comportamiento de los compuestos C y H en el proceso de coagulación/floculación fue: Compuesto C/Compuesto H.

Según Kirchmer (1977), la coagulación y floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas y

la floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Por los resultados encontrados en la remoción de la turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada indica que el Compuesto C se comporta mejor como coagulante y el Compuesto H como floculante, en las cantidades o dosis ensayadas.

4.2.3 DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES ÓPTIMAS DE LOS COMPUESTOS C Y H EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN /FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA

Una vez determinado el orden de los componentes C y H en el proceso de coagulación /floculación, el objetivo de esta etapa fue determinar las cantidades óptimas de éstos en el proceso de coagulación y floculación del agua de cola. Los resultados de los diversos tratamientos se muestran en los cuadros 20 y 21.

Cuadro 20: Características del líquido residual utilizando diferentes cantidades del Compuesto C (coagulante) con diferentes cantidades del Compuesto H (floculante)

Tratamiento (T)	Cantidad Comp. C (ml)	Cantidad Comp. H (ml)	pH final	C.E. (mS/cm)	Turbiedad (NTU)	Por ciento de Remoción Turbiedad
T ₁₇	2.5	1.0	5.99	22.6	1,520	95.5
T ₁₈	2.5	2.5	5.93	22.5	4,100	87.9
T ₁₉	2.5	5.0	5.95	21.5	1,315	96.1
T ₂₀	2.5	10.0	5.71	21.2	1,290	96.2
T ₂₁	5.0	1.0	6.06	25.8	1,295	96.2
T ₂₂	5.0	2.5	6.01	25.9	795	97.7
T ₂₃	5.0	5.0	5.85	21.7	735	97.8
T₂₄	5.0	10.0	5.65	24.9	84.7	99.7
T ₂₅	10.0	1.0	6.01	21.1	680	98.0
T ₂₆	10.0	2.5	5.92	23.9	950	97.2
T ₂₇	10.0	5.0	5.79	24.1	565	98.3
T ₂₈	10.0	10.0	5.77	21.9	520	98.5

Cuadro 21: Calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola utilizando diferentes cantidades del Compuesto C (coagulante) con diferentes cantidades del Compuesto H (floculante)

Tratamiento (T)	Cantidad Comp. C (ml)	Cantidad Comp. H (ml)	Willcomb	Calificación del precipitado
T ₁₇	2.5	1.0	6	C
T ₁₈	2.5	2.5	4	D
T ₁₉	2.5	5.0	10	A
T ₂₀	2.5	10.0	8	A
T ₂₁	5.0	1.0	4	C
T ₂₂	5.0	2.5	10	B
T ₂₃	5.0	5.0	10	A
T₂₄	5.0	10.0	10	A
T ₂₅	10.0	1.0	6	C
T ₂₆	10.0	2.5	8	C
T ₂₇	10.0	5.0	8	B
T ₂₈	10.0	10.0	10	A

En el cuadro 20 se observa que el tratamiento T₂₄ reporta una turbiedad de 84.7 NTU lo que representó una remoción de la turbiedad de 99.7 % (Figura 38). Kirchner (1981), menciona que para cada polielectrolito existe una dosis óptima, cualquiera sea el modo de empleo, en este caso al parecer la dosis empleada adecuada fue utilizar 5mL del Compuesto C con 10mL del Compuesto H. Indica además que si se sobrepasa esta dosis, se puede producir una re estabilización de los coloides y un desmejoramiento de la calidad del efluente, como es el caso del tratamiento T₂₅ utilizando 10mL del Compuesto C con 1mL del Compuesto H, donde la turbiedad residual fue mayor (680 NTU). El tratamiento T₂₇, donde se utilizan las mismas cantidades de los Compuestos C y H pero adicionados en forma invertida provocó una turbiedad residual de 565 NTU una explicación a ello lo da Arboleda (1981), quien señala que dosis excesivas de polielectrolitos producen dispersión en lugar de ayudar a la coagulación.

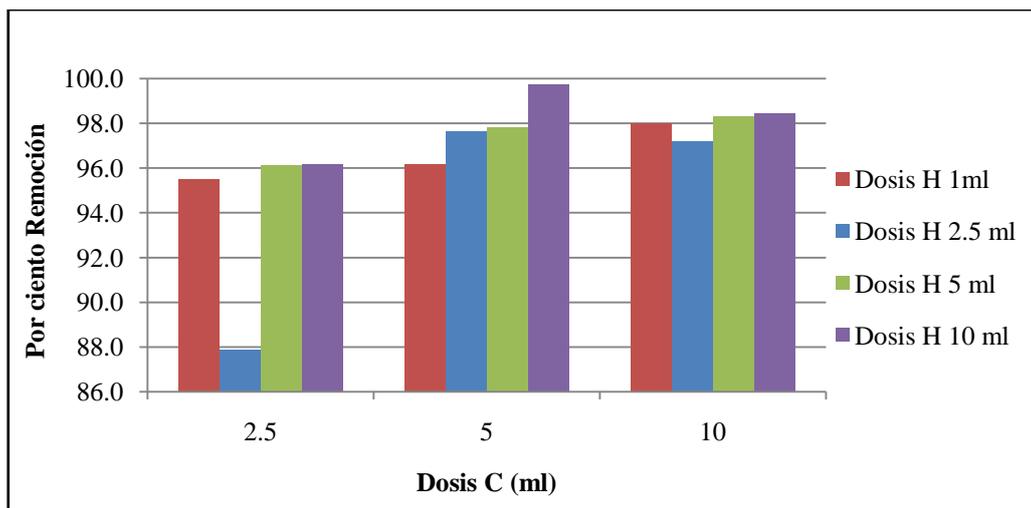


Figura 38: Remoción de turbiedad (%) a diferentes cantidades de Compuesto C y Compuesto H en el tratamiento de agua de cola

Respecto al pH, los valores reportados indican que a mayor cantidad del compuesto C y compuesto H durante el tratamiento de coagulación y floculación del agua de cola, dichos valores disminuyen incrementando su acidez. El rango de variación del pH varía de 0.24 a 0.4, ello podría atribuirse a las características de los compuestos utilizados en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola.

La conductividad eléctrica (figura 39) no presentó un rango amplio de variaciones entre los tratamientos, sin embargo se presentaron ligeros incrementos en los tratamientos T₁₉ y T₂₇, y ligeras disminuciones con el tratamiento T₂₆, asimismo se deduce que este valor depende de la dosis del coagulante y floculante, ya que, si bien con dosis menores a la óptima se obtuvo mayores valores, después de ella no asegura que sucedan mayores remociones. Si bien se espera obtener un líquido residual con una gran cantidad de sales medidas a través de la conductividad eléctrica, y que deje al lodo recuperado con una mínima cantidad de ellas.

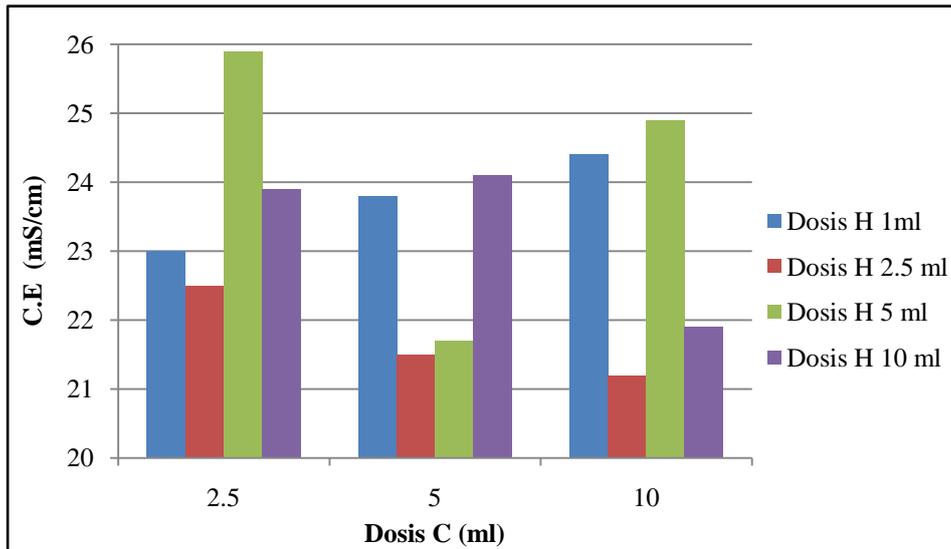


Figura 39: Valores de C.E. para diferentes dosis del compuesto C y H

Los mejores resultados de remoción de la turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada y las diferentes cantidades del Compuesto C seguido del Compuesto H, se muestra en la Figura 40.

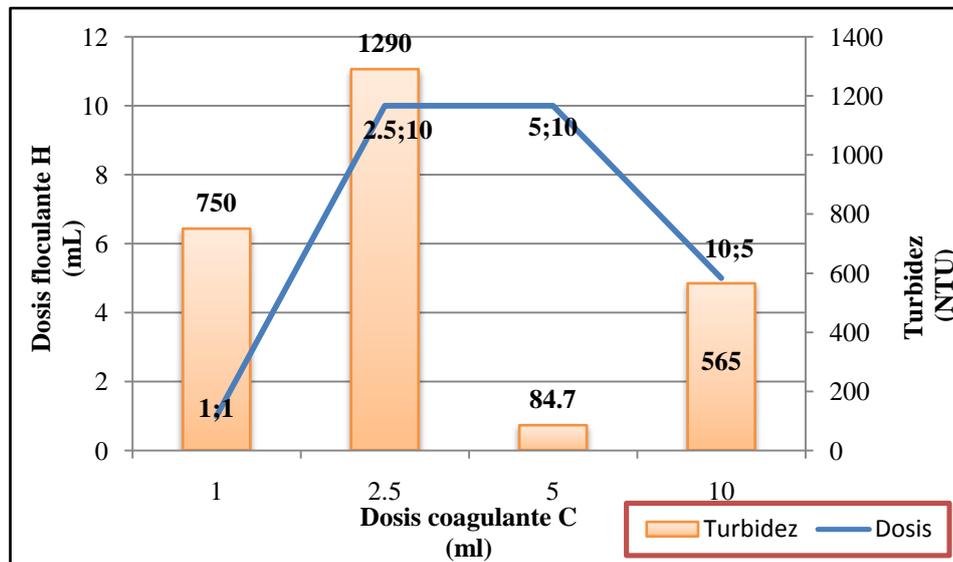


Figura 40: Relación entre las cantidades de Compuesto C y el Compuesto H con los niveles de turbiedad obtenidos de los mejores tratamientos

Respecto a la calificación organoléptica del tratamiento T₂₄, tanto con el Índice de Willcomb (Eckenfelder, 1989) como con la tabla propuesta por Rodríguez (2002), el precipitado alcanzó el máximo calificativo de ambas escalas comportándose el floc

formado como excelente identificado como aquel que se deposita fácilmente y completamente dejando el líquido residual amarillo transparente como se muestra en la figura 41.

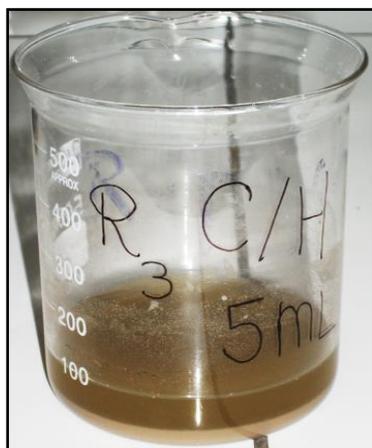


Figura 41: Precipitación de sólidos en el agua de cola tratada utilizando el coagulante C y floculante H a la dosis óptima de 5:10

El análisis estadístico (Anexo IV) con la prueba de Tukey para la variable turbidez el factor dosis de 5ml con 10ml indicó que las medias son significativamente diferentes entre las dosis mencionadas.

Por los resultados encontrados la combinación adecuada para el proceso de coagulación/floculación del agua de cola fue utilizar 5ml del Compuesto C (coagulante) con 10 ml del compuesto H (floculante) en 100 ml de agua de cola.

4.2.4 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA MEZCLA RÁPIDA EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA

Los resultados de la turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada con 5 ml del coagulante (compuesto C) y 10ml del floculante (compuesto H) a diferentes velocidades de mezclarápida, se muestra en el cuadro 22 y figura 42.

Cuadro 22: Turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada a una misma dosis del coagulante C y floculante H a diferentes velocidades de mezcla rápida

Velocidad (rpm)		Dosis (ml)		Tratamiento (T)	Turbiedad (NTU)
Mezcla rápida	Mezcla lenta	Coagulante: Compuesto C	Floculante: Compuesto H		
100	50	5.0	10.0	T ₃₇	1,185
200	50	5.0	10.0	T ₃₈	84.7
250	50	5.0	10.0	T ₃₉	350
280	50	5.0	10.0	T ₄₀	274
300	50	5.0	10.0	T ₄₁	440

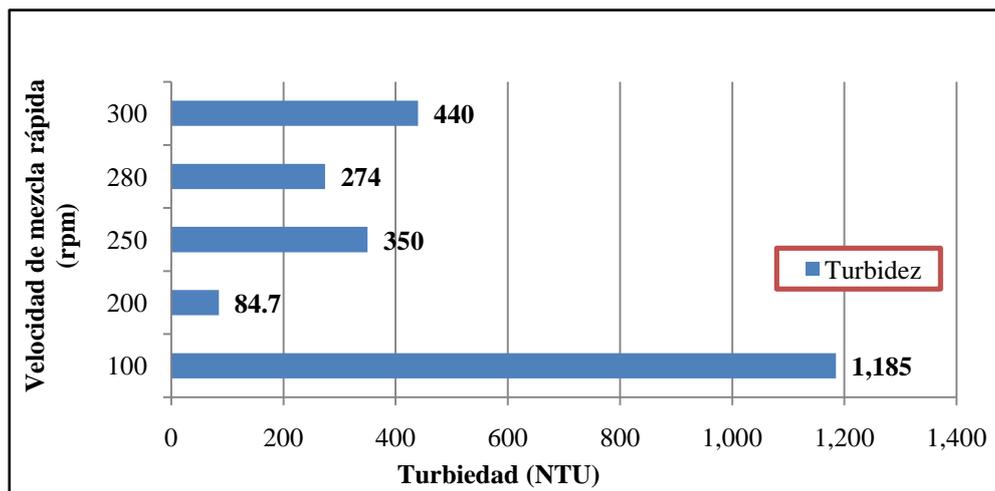


Figura 42: Medidas de turbiedad del líquido residual del agua de cola tratada con el coagulante C y floculante H a la dosis adecuada vs velocidades de mezcla rápida

En el cuadro 22, el tratamiento T₃₈, a la dosis de 5 ml del compuesto C y 10ml del compuesto H y a la velocidad de 200 rpm para la mezcla rápida con 50 rpm para la mezcla lenta permitió obtener una turbidez residual de 84.7 NTU, en tanto que a velocidades diferentes de coagulación, la turbiedad se incrementó. Este hecho puede ser explicado por Pérez (1981) quien menciona que la cantidad de energía que se comuniqué al líquido durante el proceso de coagulación tiene una gran influencia en el tamaño y resistencia del floc que se forme, en este caso velocidades diferentes provocaron un exceso de energía que

impidió que los sólidos se agregaran o se rompieran Rodríguez (2002), que se vio reflejado en la lectura de turbidez.

En la figura 42 se observa que la velocidad de mezcla rápida de 100 rpm no logró reducir tanto la turbidez como sí sucedió cuando las velocidades fueron mayores a ésta. Al respecto Rodríguez (2002) menciona que cuando se trabajó con velocidades mayores a 100 rpm se produjo una excesiva turbulencia, lo cual no permitió obtener buenos resultados en la prueba de jarras, a ello en el presente trabajo la velocidad de 100 rpm no fue la suficiente como para permitir que todas las partículas se desestabilicen y se formen los microflóculos, al respecto puede haber sucedido una hidrólisis parcial del coagulante que haya permitido por un lado la formación de pequeños flocs con gran presencia de material suspendido que se vio reflejado en la lectura de turbidez.

Respecto al tiempo de agitación que se aplicó para la mezcla rápida este fue dado en función a estudios realizados anteriormente, Eckflender (1989) definió un tiempo de 1 minuto para la coagulación, Rodríguez (2002) se basó en dos tiempos de agitación de 30 segundos y 3 minutos concluyendo que el mejor tiempo de agitación fue el de 30 segundos, en el presente trabajo se fusionaron ambos tiempos y se trabajó con 1.5 minutos, por el contrario O' Melia (1969) menciona que la coagulación se produce en tres etapas y que ello puede tardar 60 segundos o menos, cuando se utilicen sales metálicas. Por el contrario Pérez (1977) menciona que no es posible fijar un valor de tiempo en mezcla rápida que posibilite un tratamiento eficiente y que el factor más importante es la rapidez y uniformidad con la que el coagulante se mezcla con la totalidad de la masa tratada, este fue el sustento en que se basó el presente trabajo por eso el tiempo que se utilizó fue de 1.5 minutos.

Respecto al tiempo de agitación en la mezcla lenta, se tomó como referencia los estudios realizados por Correa (2002) donde da un tiempo de floculación de 12 minutos a 50 rpm. Rodríguez (2002) menciona dos tipos de velocidades (40 y 70 rpm) a 15 minutos, la literatura refiere que el tiempo de floculación puede oscilar entre 15 a 30 minutos; es así que en el presente trabajo se ha considerado que el tiempo de mezcla lenta es relativo y depende de las condiciones experimentales propias pues, puede trabajarse a 12 minutos como 15 ó 30 minutos al final ello está en función de cuán grande sea el flóculo que se está formando.

4.2.5 EVALUACIÓN DE LA DECANTACIÓN NATURAL Y USO DE CENTRIFUGACIÓN EN EL LÍQUIDO RESIDUAL DEL AGUA DE COLA TRATADA CON COAGULANTE/FLOCULANTE SELECCIONADOS

Los resultados de turbiedad en el líquido residual obtenidos con el procedimiento de decantación natural (60 minutos aproximadamente), a la temperatura de 23°C, se muestra en el cuadro 23.

Cuadro 23: Características del líquido residual de agua de cola tratada con coagulante/floculante seleccionado en dosis óptima, obtenida por decantación natural

ITEM	pH	Turbiedad (NTU)	Por ciento de Remoción Turbiedad	Conductividad (mS/cm)
1	5.54	50.5	99.85	24.2
2	5.55	56.4	99.83	24.6
3	5.55	49.1	99.85	24.7
4	5.55	75.6	99.78	24.4
Promedio	5.55	57.90	99.83	24.5

En el cuadro 23 se puede observar que los valores de turbiedad en los líquidos residuales obtenidos por decantación natural son bajos (NTU promedio de 57.9) y el porcentaje de remoción en todos los tratamientos se encuentran por encima del 99%. El mejor resultado de la lectura de turbiedad del líquido residual utilizando centrifugación para la separación de las fases del agua de cola tratada alcanzo NTU de 84.7 con una remoción del 99,7%. Si bien la turbiedad del líquido residual obtenido en decantación natural presenta menor turbiedad, esta es casi similar y en ambos casos es mayor de 95%. Wang *et al.*, 2005^a menciona que si bien la sedimentación es el proceso en el que las partículas suspendidas son separadas de una suspensión por fuerza gravitacional, las velocidades de sedimentación dependen de la forma, tamaño, gravedad específica de las partículas, así como la viscosidad, temperatura y quiescencia del líquido.

La evaluación de la separación y formación del floc se midió durante 60 minutos aproximadamente, durante la experimentación se notó que mientras más tiempo se dejaba transcurrir, la presencia de partículas suspendidas en el sobrenadante fue cada vez menor.

La calificación organoléptica de la precipitación de los sólidos del agua de cola tratada con coagulante/floculante en dosis óptima, durante la decantación natural, utilizando las tablas de Willcomb (Eckflender, 1989) y Rodríguez (2002) fueron 10 y A, respectivamente, ambas calificaciones son para precipitados apropiados. La ponderación asignada para este precipitado (Figura 43) fue la más alta calificación según ambos autores.

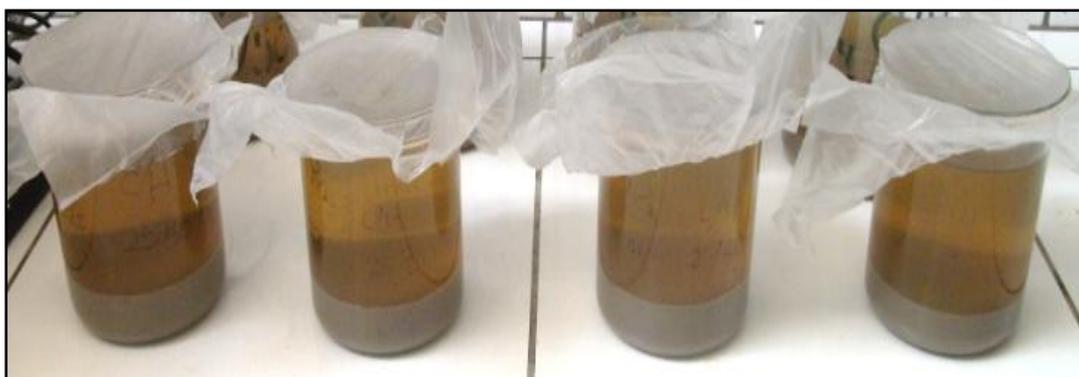


Figura 43: Precipitación de sólidos del agua de cola tratada utilizando el procedimiento de la decantación natural

En la figura 44 se observa que el porcentaje de remoción de turbidez es más alto cuando el pH es 5.55 en tanto que la conductividad eléctrica está por encima del 24.4 mS/cm, muy similar al valor del agua de cola inicial (24.73mS/cm). Al parecer en el procedimiento de coagulación/floculación el sobrenadante arrastra las sales dejando a los sólidos con mínima cantidad lo cual es bueno, ya que, no es deseable que los sólidos presenten muchas sales.

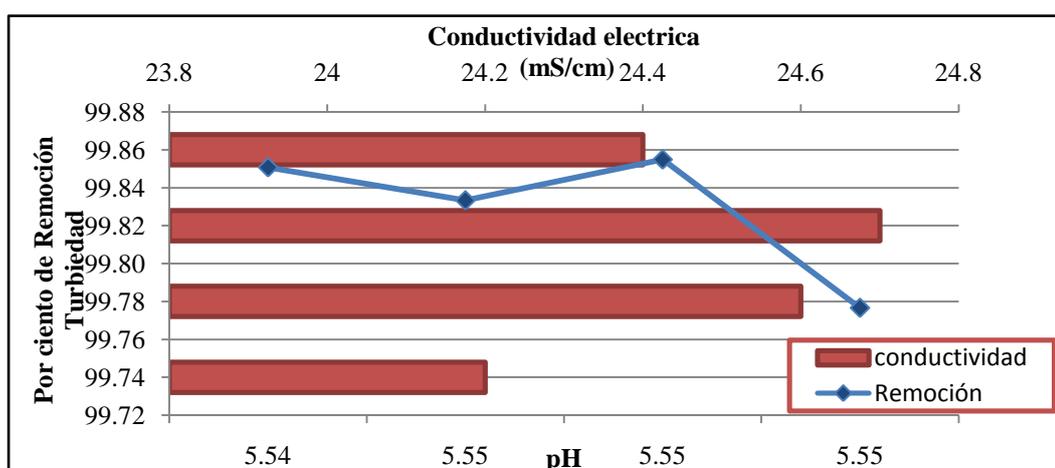


Figura 44: Porcentaje de remoción de turbidez vs pH y Conductividad Eléctrica en el agua de cola tratada por decantación natural

En el cuadro 24 se muestran los valores de turbiedad residual en el líquido residual obtenido por decantación natural sometido a centrifugación.

Cuadro 24: Características del líquido residual del agua de cola tratada con el coagulante C y floculante H a la dosis adecuada, centrifugado

ITEM	pH	Turbiedad (NTU)	Por ciento de Remoción Turbiedad	Conductividad (mS/cm)
1	5.53	31.4	99.91	24.1
2	5.57	25.5	99.92	23.3
3	5.55	20.9	99.94	24.3
4	5.55	26.0	99.92	23.9
Promedio	5.55	25.95	99.92	23.9

Los resultados muestran que la centrifugación posterior a la sedimentación reduce aún más la turbidez. La figura 45 muestra un líquido residual de color amarillo claro atribuido a la centrifugación. Rodríguez (2002) menciona que existe una relación directa entre el color obtenido del sobrenadante y el valor de turbidez reportado; asimismo de acuerdo a estos resultados todas las muestras obtuvieron un calificativo tipo A, si bien el autor menciona que no existe relación directa entre el tipo de precipitado y la turbiedad, ya que, a pesar de que en los precipitados obtuvo flocs grandes y compactos la turbiedad que se midió fue alta, por el contrario en este experimento sucedió lo opuesto, ya que, el tipo de precipitado obtenido fue el mejor A y la turbidez fue la más baja.

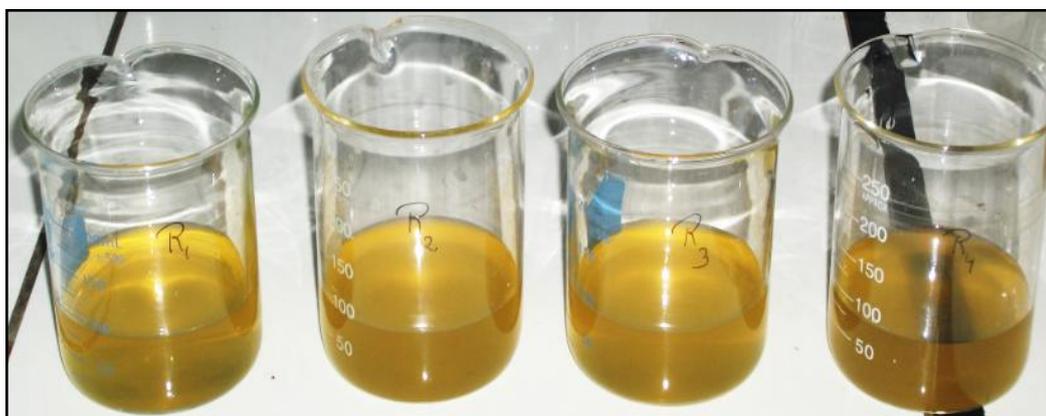


Figura 45: Líquido residual centrifugado del agua de cola tratada con el coagulante C y floculante H a la dosis adecuada

4.3 BALANCE DE MATERIA

Los resultados de la composición química del agua de cola, lodo recuperado (Figura 46) y líquido residual (Figura 47) utilizados para el balance de materia, se muestran en el cuadro 25. Para el balance se utilizó 30 L de agua de cola.



Figura 46: Fase, lodo recuperado **Figura 47: Fase, líquido residual**

El resultado del balance de materia en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola utilizando el Compuesto C como coagulante y el Compuesto H como floculante en las cantidades óptimas determinadas se muestra en la figura 47.

Cuadro 25: Composición química utilizada para el balance de materia en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola

Componente	Agua de cola	Lodo recuperado	Líquido residual
Sólidos (%)	9.00	11.69	6,85
Agua (%)	90.68	87.14	93.15
Grasa (%)	0.33	1.16	0.00
Histamina (ppm)	62.16	59.69	58.83

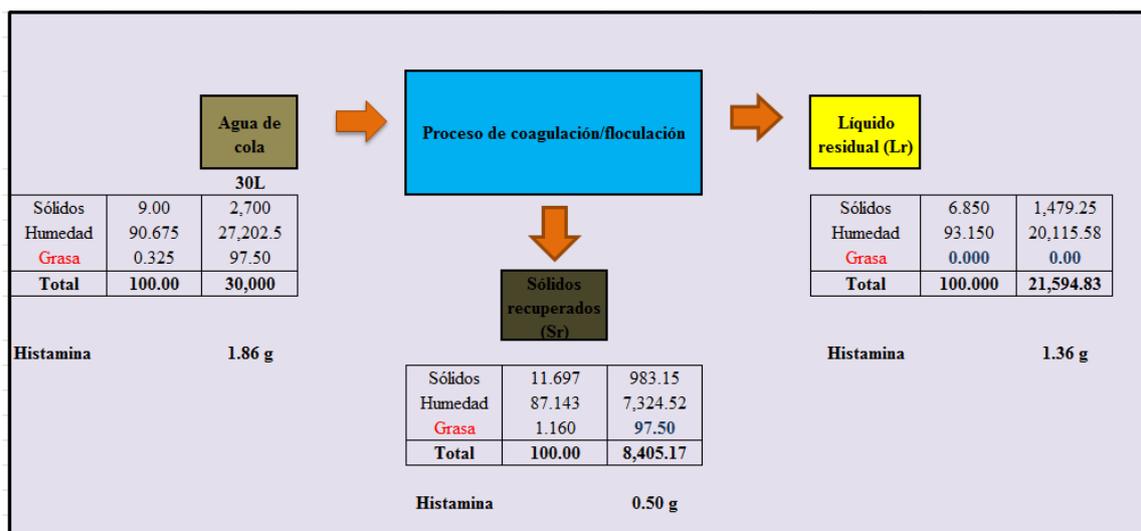


Figura 48: Balance de materia del proceso de coagulación/floculación del agua de cola

La presencia de histamina en el agua de cola se debería al manejo del proceso en sí y no de una característica del proceso de coagulación, pues la inadecuada manipulación y conservación del pescado crudo favorecen la contaminación y proliferación de microorganismos, que no solo pueden afectar directamente la salud del individuo, sino también hacerlo de manera indirecta a través de los metabolitos que se forman, como en el caso de la histamina a partir de la histidina. Hungerford (2010) menciona que el contenido de histamina en los ejemplares recién capturados es despreciable, sin embargo, la carga microbiana propia y la incorporada en los procedimientos post-captura encuentran en el pescado un medio excelente para ser colonizado.

En la figura 48 se puede observar que en el proceso de coagulación/floculación del agua de cola tratada con el compuesto C (coagulante) y el compuesto H (floculante), se separó en la fase lodo recuperado, el 36.41% de los sólidos totales presentes en el agua de cola (sólidos más grasa), el remanente de los sólidos del agua de cola (63.59%) permaneció en los líquidos residuales.

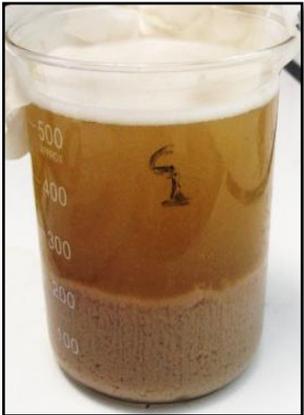
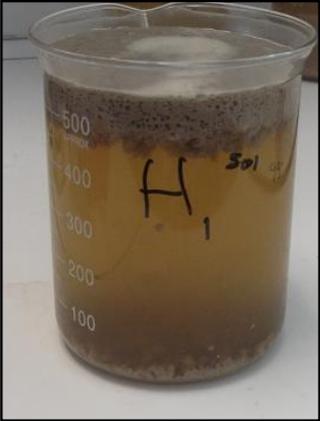
Por otro lado, del total del contenido de histamina presente en el agua de cola, el lodo recuperado retuvo el 26.9% de la histamina y el líquido residual el 73.10%, por lo que se asume que la histamina por su característica de ser soluble en agua, permanece en esta fase de líquido residual y no sería afectada por el uso de los compuestos C y H utilizados en el proceso de coagulación/floculación. Dicho resultado, según el procedimiento realizado, permitió indicar que el tratamiento del agua de cola con el compuesto C como coagulante y

el compuesto H como floculante, permitieron mantener la histamina en los líquidos residuales, hasta en 73.10% del contenido de histamina inicial en el agua de cola y podría ser mayor si la separación de los sólidos recuperados por coagulación/floculación fuese más eficiente.

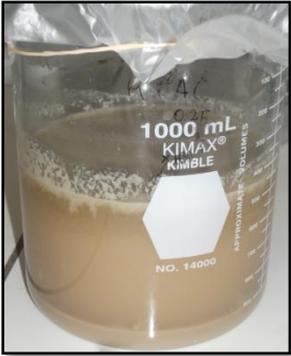
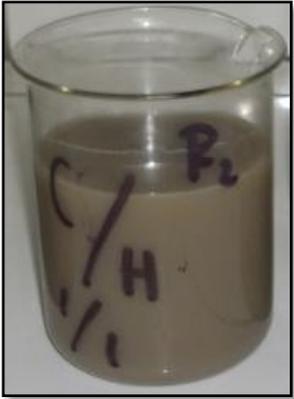
Cabe indicar que si bien el contenido de sólidos es menor en el lodo recuperado, ésta es de mejor calidad por el menor contenido de histamina que presenta lo que conllevaría a mejorar la cantidad de sólidos y la calidad de la harina de pescado producida con este derivado.

Los resultados organolépticos encontrados en el desarrollo del presente trabajo de investigación permitieron, utilizando la tabla propuesta por Rodríguez (2002), elaborar el cuadro 26 para la evaluación organoléptica del floc formado en el tratamiento de agua de cola con floculantes naturales.

Cuadro 26: Propuesta de análisis organoléptico de floc en tratamiento de agua de cola con coagulantes/floculantes naturales

IMAGEN	Tipo de precipit.	Características	Calificación
	A/10	Los Flocs son grandes, precipitado compacto, el sobrenadante es amarillo, cristalino libre de impurezas.	Excelente
	B/8	Flocs son relativamente grandes, precipitado compacto, el sobrenadante es algo opaco.	Muy Bueno
	C/6	Los Flócs son visibles, precipitado algo compacto con superficie difusa de formación un tanto lenta, el sobrenadante es opaco, tenue.	Bueno

“...continuación”.

	<p>D/4</p>	<p>Precipitación lenta, flocs difusos y pequeños, el sobrenadante opaco y con sólidos en suspensión.</p>	<p>Regular</p>
	<p>E/0</p>	<p>No se observa precipitado flocs difusos y pequeños o no se forman; no hay separación o es muy lenta.</p>	<p>Malo</p>

4.4 CARACTERIZACIÓN DEL SÓLIDO RECUPERADO (LODO 10% DE HUMEDAD) Y LÍQUIDO RESIDUAL OBTENIDO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN DEL AGUA DE COLA

Sólidos recuperados

El análisis de magnesio, plomo, arsénico y cromo reportó ausencia. Lo cual es bueno, ya que, indica que los sólidos recuperados no contienen metales pesados.

El contenido de DBO_5 fue 96 000 mg/L de oxígeno, en el sólido recuperado, capaz de ser oxidado por microorganismo a temperatura ambiente y el resultado de DQO fue 173 304 mg/L de oxígeno que puede ser oxidado químicamente a temperatura ambiente.

La presencia de *E.coli* en la muestra resultó ser menor a 1,8 NMP, este resultado, indicó que la muestra fue tratada en condiciones higiénicas. Así mismo la Detección de Salmonella reportó ausencia, con lo cual estos sólidos recuperados podrían integrarse al

proceso productivo de harina y aceite de pescado sin ningún problema de tipo microbiano (Figura 49).



Figura 49: Sólidos recuperados (lodo recuperado con 10% de humedad)

Los Perfiles de aminoácidos de los sólidos recuperados con un contenido de proteína de 62,8% ,la harina de anchoveta que presenta un 66.5% de proteína bruta y los requerimientos nutricionales en la dieta de salmónidos en el estadio de cría (NRC,1993),se muestra en cuadro 27.

Cuadro 27: Contenido de aminoácidos (%) de los sólidos recuperados del agua de cola tratada, la harina de pescado y los requerimientos mínimos en la dieta de salmónidos

Aminoácido	Requerimientos en salmónidos (%)	Harina de pescado (%)	Sólidos recuperados agua de cola (%)
Arginina	2.00	3.85	3.13
Histidina	0.70	1.61	0.70
Isoleucina	0.80	3.17	1.58
Leucina	1.40	5.05	1.92
Lisina	2.00	5.04	2.26
Metionina	1.10	1.99	0.81
Cistina	0.00	0.60	0.90
Fenilalanina	1.20	2.78	1.80
Tirosina	0.00	2.24	0.59
Treonina	0.80	2.82	0.73
Triptofano	0.20	0.75	0.13
Valina	1.30	3.50	0.87

En el cuadro 27 se comparan los requerimientos de aminoácidos esenciales en la harina de pescado, los sólidos recuperados del agua de cola y los requerimientos mínimos de aminoácidos en la dieta de salmónidos en el estadio de cría; expresados en porcentaje, se observa que en la mayoría de los casos los aminoácidos del agua de cola superan a los requerimientos mínimos para la dieta de salmónidos, lo que indica que posiblemente los sólidos recuperados del agua de cola pueden suplir las necesidades dietarias mínimas; sin embargo también se observa que el aminoácido que se encuentra en menor cantidad es el triptófano, lo que sugeriría de que se trataría de un aminoácido limitante; al respecto la organización mundial para la alimentación y agricultura (FAO) indica que los aminoácidos más limitantes en alimentos para salmón son lisina, metionina y arginina (o treonina) cuando el nivel de harina de pescado es reducido y se aumentan las fuentes de proteína vegetal, es por ello que diversos suplementos de proteína tales como harina de pescado de alta calidad, productos de proteína vegetal (harina de soya, harina de gluten de maíz, harina de canola y harina de chícharo), harina de subproductos animales (harina de subproductos de aves, harina de carne, harina de sangre, harina hidrolizada de pluma) y harina de crustáceos (krill, camarón, cangrejo) son empleados en la formulación de dietas del salmón dependiendo de su costo y disponibilidad (FAO,2013).

Por otro lado los aminoácidos en la harina de anchoveta (NRC,1993) con un contenido de proteína del 66.5 % son mayores a los presentes en los sólidos del agua de cola, respecto a ello, se puede decir que si bien el agua de cola es un subproducto del proceso de harina de pescado al cual se trata y considerando que en el proceso de elaboración de harina de pescado hay etapas y que durante el procesamiento la proteína sufre pérdidas en su composición inicial; además si a ello se le suma el estado de materia prima, las condiciones de operación de la planta, las mismas pozas de almacenamiento que contienen al pescado almacenado a la espera antes de ser tratado.

Es por ello que se justifica que el contenido de aminoácidos en los sólidos del agua de cola no podrá ser igual a la harina de anchoveta; de otro lado en el cuadro 27 también se observa que el aminoácido que en esa proteína es el más limitante, ya que es el que determina la utilización de la proteína en la síntesis de la proteína corporal (Castro,1993) es el triptófano lo que significa que el resto de los aminoácidos se absorberían a ese nivel (Figura50).

Areche (1970) menciona que las cantidades de lisina y metionina encontradas en el extracto de agua de cola, reflejan la importancia que tiene la potencial utilización de ésta como una fuente de aminoácidos importantes” que es interesante recuperar y así incrementar el valor de ésta.

Por los resultados encontrados los sólidos recuperados del agua de cola necesariamente tienen que adicionarse al proceso de elaboración de harina de pescado para incrementar su valor nutricional, ya que, las cantidades de lisina y metionina que hace mención Areche (1970) serían de gran valor para los peces salmónidos. Castro (1994) reporta que diversos estudios han indicado que la metionina es esencial para el óptimo crecimiento de las especies acuícolas y que la presencia de cistina reduce el requerimiento de metionina dietaria necesaria para un óptimo crecimiento.

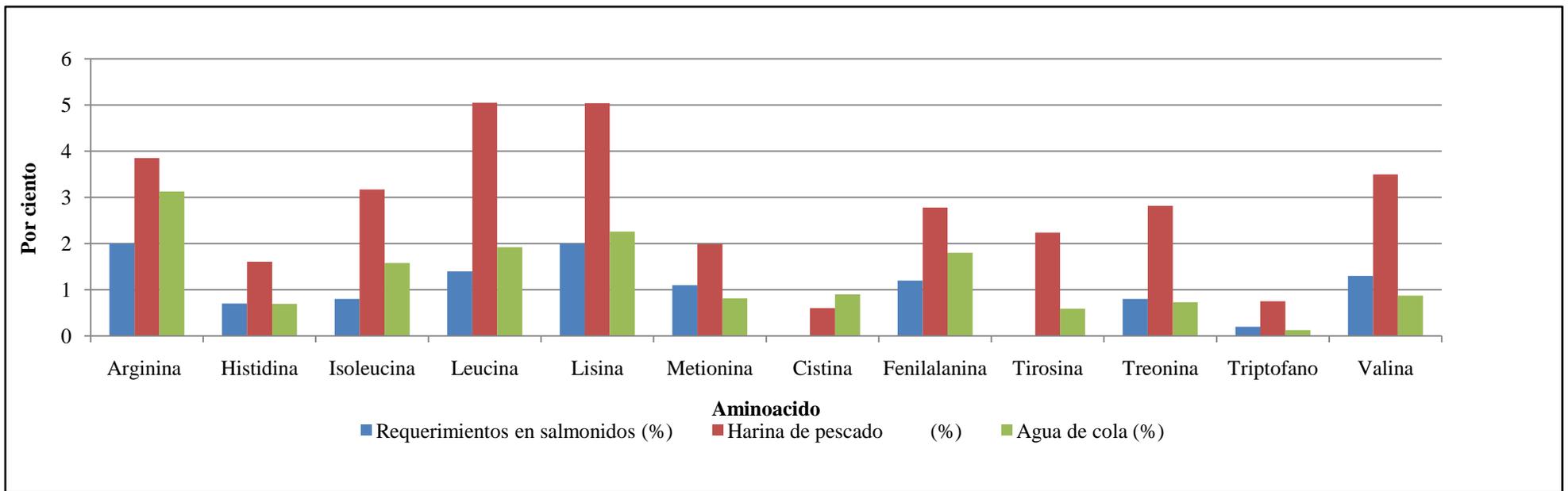


Figura 50 Comparación de aminoácidos en los sólidos recuperados del agua de cola, harina de pescado con los requerimientos nutricionales en los salmónidos (Estadio cría).

Líquido residual

Los resultados del análisis de metales se muestra en el cuadro 28.

Cuadro 28: Contenido de metales en el líquido residual del agua de cola tratada

Metales	Contenido
Plomo (Pb)	NP
Cromo (Cr)	NP
Arsénico (As)	NP
Cadmio (Cd)	0,08 ppm
Mercurio (Hg)	NP
Aluminio (Al)	NP
Cloro (Cl)	8,871.5 ppm

NP: No se presentó

La presencia de los metales pesados fue mínimo y están dentro del límite para descarga al sistema de alcantarillado; de otro lado el contenido de cloruros es elevado, lo que confirmó la elevada presencia de sales bajo la forma de cloruros, lo cual fue deseable tener la mayor cantidad de sales en el líquido residual.

El Análisis de DBO₅ indicó que existen 38 000 mg/L de oxígeno que puede ser degradado por bacterias a temperatura ambiente y el porcentaje de reducción que se logró fue del 46.34% respecto a la muestra original; el análisis de DQO indicó que existen 58 764 mg/L de oxígeno que puede ser oxidado por medios químicos, y se logró reducir un 53.64% respecto a la muestra original.

La presencia de *E.coli* en la muestra resultó ser menor a 1,8 NMP, que indicó que la muestra fue tratada en condiciones higiénicas. Así mismo no se detectó presencia de *Salmonella*.

V. CONCLUSIONES

- Fue posible la recuperación de sólidos del agua de cola utilizando la técnica físico-química de coagulación-floculación con bajos contenidos de histamina. La reducción del contenido de histamina en los sólidos recuperados fue de 73.10 %.
- El empleo de 5 ml del Compuesto C (coagulante) y 10 ml Compuesto H (floculante), permitió reducir la turbidez del líquido residual del agua de cola tratada por decantación natural de 33,838 NTU hasta 49.1 NTU, ello representó una reducción de 99.85 %. Para el caso de separación con centrifuga, la reducción fue de 99.7%.
- El tiempo adecuado de mezclado del agua de cola con el Compuesto C (coagulante) fue de 1.5 min. a 200 rpm y con el Compuesto H (floculante) de 30 minutos a 50 rpm.
- La mejor relación del compuesto C (coagulante) y del compuesto H (floculante) en el tratamiento del agua de cola fue: 1:2 en 20 de agua de cola.
- Según el balance de materia, los sólidos en el lodo recuperado del agua de cola por coagulación/floculación fue de 36.41 % (sólidos más grasa), el remanente de los sólidos básicamente sales y minerales (63.59%) permaneció en los líquidos residuales.
- No se encontró presencia de magnesio, plomo, arsénico y cromo en el lodo recuperado. Asimismo el análisis microbiológico de *E. coli* y *Salmonella* fue negativo.
- No se encontró presencia de plomo, cromo, arsénico, mercurio y aluminio en el líquido residual. El contenido de cadmio fue 0.08 ppm y 8,871.5 ppm de cloruros.

- El análisis microbiológico de *E. coli* y *Salmonella* en el líquido residual fue negativo.
- El líquido residual del tratamiento del agua de cola por coagulación/floculación presentó 38 000 mg/L de DBO₅ y 58 764 mg/L de DQO y deben ser tratados para cumplir con los límites permisibles o rangos de calidad reglamentados por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.
- El aminograma realizado en los sólidos recuperados del agua de cola indicó que el triptófano es el aminoácido limitante, por lo cual es necesario que los sólidos recuperados se reintegren al proceso productivo de harina y aceite de pescado

VI.RECOMENDACIONES

- Desarrollar un estudio económico de la metodología desarrollada.
- Realizar un estudio a nivel piloto de la metodología desarrollada en la presente investigación.
- Continuar con los tratamientos de coagulación/floculación aplicando otros coagulantes/floculantes en el líquido residual.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ABABOUCHE, L. (1991). Envenenamiento de Alimentos por Histamina. Tech. Fish News, 11 (1): 3 - 5.
- ADINOLFI, M., Corsaro M.M., Lanceta R., Parrilli M., Folkard G., Grant W.y Sutherland J.(1994) .*Composition of the coagulant polysaccharide fraction from Strychnos potatorum seeds*. Carbohydrate Research 263 No 1-3 103-110
- ALANYA, J. (1978) “Incremento de Riboflavina (Vitamina B₂) en el agua de cola de anchoveta (*Engraulis ringens*) por fermentación. Tesis Ing.Pesquero, UNALM, Lima.81p.
- ALBRECHT y SALAS (2003) II Seminario virtual .Histamina (escombrotóxina).Instituto Tecnológico Pesquero Del Perú.
- ALFREY, A.C., Legendre, G.R., Kaehny W.D.(1976); *The dialysis encephalopathy syndrome, a possible aluminum intoxication*. J. Med 294 184-188
- ALMENDÁREZ DE QUEZADA, N.; (2004) *Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del lago de Managua “Piedras Azules”*. Revista Iberoamericana de Polímeros 5 No.1: 46-54
- AL-SAMAWI, A. A., Shokrala E.M.:(1996) *An investigation into an indigenous natural coagulant*:Journal Environ, Sci. Health, A31 No. 8 :1881-1897
- ÁLVAREZ,F.(2003) La situación crítica de la pesquería industrial del Perú y alternativas de solución .Ed.Iberoamericana,Lima.152p.
- ANDIA,Y. (2000) Tratamiento de agua. Coagulación y Floculación.Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico.SEDAPAL.

- AOAC (2011) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 15 th Edition, Arlington, Virginia, USA.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992) *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*.
- ARECHE, N.(1970) “Valoración de Lisina y Metionina en Hidrolizado del Agua de Cola”. Segundo Congreso Peruano de Ingenieros Químicos.Lima.18p.
- ARONES,C. (2008) Beneficios y mejora operacionales por la aplicación de enzimas Protex 6L en agua de cola caso empresa TASA-SUPE.Tesis para optar el título de Ingeniero pesquero.Universidad Nacional Federico Villareal.Lima.110p.
- ASHMORE, M., Hearn, J., & Karpowicz, F. (2001). Flocculation of Latex Particles of Varying Surface Charge Densities by Chitosans.*Langmuir*, 17(4), 1069-1073.
- BOISVERT, J.P., To T., Berrak A., Jolicoeur C.:(1997)*Phosphate adsorption in flocculation processes of aluminium sulphate and poly-aluminium-silicate-sulphate*. Water Res., 31: 1939-1946
- BOLTO, B. y Gregory, J. (2007) Organic polyelectrolytes in water treatment. Water Research 41:2301-2324.
- BREDON,R y Marshall,B.(1954) Relation between Chemical Composition and Nutritive Value of Uganda Grasses.Sudáfrica.20(2):98.
- BRICEÑO, M. (1972) “Recuperación de Aminoácidos del Agua de Cola”. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima.83p.
- BROEKAERT, W.F., Cammue B.P.A., De Bolle M.F.C., Thevissen K., De Samblanx G. W., Osborn R. W. (1997).*Antimicrobial Peptides from plants*. Critical reviews in plant sciences 16No. 3 297-323.

- CARPINTEYRO, S.(2011) Tratamiento de aguas residuales empleando polímeros naturales y biodegradabilidad de los lodos generados.Tesis para optar el grado de Magister Science en Bioprocesos.Instituto Politécnico Nacional,México.135p.
- CAUSA, E. Y PINTO, C. (1974) “Investigación sobre procesos de Coagulación - Floculación de Aguas en Plantas de Tratamiento”. Universidad de Chile. Ingeniería Sanitaria-CEPIS, Santiago.250 p.
- CASTRO, P. (2004). Recuperación de la materia orgánica del agua de cola y su aprovechamiento como fuente de nitrógeno en suelos agrícolas. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina.118p.
- CEPIS (1991)”Manual de Disposición de aguas residuales”.Tomo II.OMS-GTZ, Lima.560p.
- CHAIREZ Y MARTÍNEZ, L., Salazar-Montoya, J.A. y Ramos-Ramírez, E.G. (2008) Physicochemical and functional characterization of the galactomannan obtained from mesquite seeds (*Prosopis pallid*) Eur Food Res Technol 227: 1669-1676.
- CHAUDHURI, M., Babu R.; (2005) *Home water treatment by direct filtration with natural coagulant*.Journal of water and health 3 No. 1 27-30
- CHUANG, P., Lee C., Chou J., Murugan M., Shieh B. Chen H.; (2007) *Antifungal activity of crude extracts and essential oil of Moringa oleifera Lam*. Bioresource technology 98 No. 1 :232-236
- CHRISTOPHER, H., Michael P., Doyle G. ;(1995) *In vitro acrylamide exposure alerts growth cone morphology*. Toxicology and Applied Pharmacology 131. 119-129
- CLIFFORD, M., Walker R., Ijomah P., Wright J., Murray C., Hardy R., Martlbauer P., Usleber E. and Terplan G. 1993. Do Saxitoxin-like substances have role in scombrotoxicosis. Food Additives and Contaminants. 9 (6): 657 - 667.

- COLOMA,C.(1980) Terminología relacionada con la harina de pescado ,su fabricación,almacenamiento y transporte.Pesca Perú,Gerencia Oficina Asesoría Científica,Lima.6p
- CONAM (1998) Prácticas recomendadas para mejorar la eficiencia de los procesos en la industria de harina de pescado .The Environmetal Pollution Prevention Projeet.Lima.92p.
- CRAPPER, D., Krishnan, S., Dalton A. (1973) *Brain aluminium distribution in Alzheimer's disease and experimental neurofibrillary degenaeeration*. Science 180 511-513
- DAKIA, P., Blecker, C. Robert, C. Wathelet, B. y Paquot, M. (2008) Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. Food hydrocolloids 22: 807-818.
- DAVIDSON, A., Walker G., Lewins A.:(1982) *Water supply aluminum concentrations,dialysis dementia, and effects of reverse osmosis water treatment*. Lancet 2 785-787
- DAWOOD, A. 1988. The Ocurrance of non-volatile amines in chilled-stored rainbow trout (*Salmo irideus*). Food Chemistry. 27: 33-45.
- DEL VALLE, J. y AGUILERA, J. (1990).Recovery of liquid By-Products from fish meal factories: A Review. Process Biochemistry International: Aug 1990, 122-131.
- DEARFIELD, K., Abernathy C., Ottley S., Brantner J y Hayes P.(1964) *Acrylamide: its metabolism, developmental and reproductive effects, genotoxicity, and carcinogenicity*.Mutation Res. 195 :45-77
- DÍAZ A., Rincón N., Esorihuela A. Fernández N. Chacin E. y Forster C.F.(1999) *A preliminary evaluation of turbidity renoval by natural coagulants indigenou to Venezuela*. Process Biochemistry 35 391-395
- DIGESA.GESTA AGUA.Parámetros organolépticos en aguas residuales.
- DIVAKARAN, R.,Y Sivasankara, V. (2002b). Flocculation of river silt using chitosan. *Water Research*, 36(9), 2414-2418.

- DOREA ,C.(2006) *Use of Moringa spp.seeds for coagulation: a review of a sustainable option*. Water Science 6 No. 1 219-227
- EILERT, U., Wolters B., Nahrstedt A.; (1981) The antibiotic principle of seeds of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*. *Planta Medica* 42 :55-61
- EPA METHOD 405.1 600/4-79-020 Revised March 1983 Biochemical Oxygen Demand (5 Days,20° C)
- EPA METHOD 410.1 600/4-79-020 Revided March 1983 Chemical Oxigen Demand (Titrimetric.Mid-Level)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) (1994) .Control de calidad de dietas de insumos y dietas acuícolas:Aminoacidos esenciales-Rol y determinación de lisina,metionina y cistina. Determinación de lisina disponible.Ed.E. Castro.
- FDA. (2001). "Scombrotxin (histamine) formation (A chemical hazard)". In Fish and fisheries products hazards and control guidance .Third Edition. Department of Health and Human Services. Center for Food Safety and Apply Nutrition, Office of Sea Food, Washington, DC.
- FERNÁNDEZ, M. Y Álvarez, G (2005).Las aminas biógenas en los alimentos. *Revista CTC Alimentación* 26: 84-90
- FERNÁNDEZ, M. Y Fox, P. (1997). Fractionation of cheese nitrogen using chitosan. *Food Chemistry*, 58(4), 319-322.
- FOLKARD, G. , Sutherland J.; (1986) *Water Clarification with Natural Coagulants and Dissolved Air Flotation*. *Waterlines* 5 : 23-26

- GANJIDOUST, H., Tatsumi K., Yamagishi T., Gholian R. N.; (1997) *Effect of syntethic and natural coagulant on ligning removal from pulp and paper waste water*. Water Science Technology 35 :286-291

- GARCIA, F. (2007). Metodología de extracciones in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia.

- GARDNER, M., Gunn A.M.; (1991) *Bioavailability of Al from food and drinking water*. Proc. Royal Soc. Med. Round Table Series: Alzheimer's Diseases and the Environment, London, UK

- GASSENSCHMIDT, U., Jany K., Tauscher B., Niebergall H.(1995)*Isolation and characterization of a flocculating protein from Moringa oleifera Lam*. Biochimica et Biophysica Acta 1243 477-481

- GHEBREMICHAEL, K. , Gunaratna K., Henriksson H., Brumer H., Dalhammar G.:(2005) *A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed*.

- GINGERICH, T. y colab. (1999).Biogenic amine survey and organoleptic changes in fresh, stored,and temperature-abused bluefish (*Pomatomus saltatrix*). Journal of Food Protection 62: 1033-1037

- GONZÁLEZ,G., Chávez M., Mejías D., Mas y Rubí M., Fernández N., León de Pinto G.:(2006)*Use of exudated gum produced by Samanea saman in the potabilization of the water*, Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. 29 No. 1: 14-22

- GOYCOOLEA, F. y Cárdenas A. (2003) Pectins from *Opuntia* spp.: a short review. J.PACD:17-29.

- GOZZI, M., Piacente. M. y colab. (2008). Influencia de la temperatura de conservación sobre la formación de histamina en caballa (*Scomber japonicus*). Instituto de Tecnología, Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas, Universidad Argentina de la Empresa (UADE),

Lima 717, AAO1073, Buenos Aires. Vol. 22(6), 53-62 Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v22n6/art06.pdf>

- GYLIENE, O., Rekertas, R. y Salkauskas, M. (2002). Removal of free and complexed heavy-metal ions by sorbents produced from fly (*Musca domestica*) larva shells. *Water Research*, 36(16), 4128-4136.
- GRAHAM, H. (1977) "Introduction to Colloid Chemistry". The A VI Publishing Company INC., Connecticut. 588p.
- GUERRERO, L., Omil, F., Méndez, R., y Lema, J. M. (1998). Protein recovery during the overall treatment of wastewaters from fish-meal factories. *Bioresource Technology*, 63(3), 221-229.
- HAMIDI, A., M. Koffly; (1998) *The use of sago starch as coagulant aid in water and wastewater treatment*. Bulletin Institution of Engineers Perak 27-31
- HAMIDI, A., Raghavan S., Koffly, M., Isa M., Abdullah M. H.; (2000) *Removal of Sulphate, Chloride, Nitrate-Nitrogen and Turbidity from Water Using Tapioca Starch*, JURUTERA 6 June 41-47
- HUANG, C., Chen, S., y Ruhsing Pan, J. (2000). Optimal condition for modification of chitosan: a biopolymer for coagulation of colloidal particles. *Water Research*, 34(3), 1057-1062.
- HUNGERFORD, J. (2010). Scombroid poisoning. A review. *Toxicon* 56: 241-243
- ICB 005.2012. Determinación de Histamina en Productos Hidrobiológico por HPLC.
- IZQUIERDO, P, Sandra L., y otros. (2004). Evaluación bacteriológica y contenido de histamina en pescado desmenuzado pre cocido en Venezuela. *Revista científica* Vol. XIV, número 005. pp 467-473. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/959/95914513.pdf>
- JAHN, S, Dirar H. (1979) *Studies on natural water coagulants in the Sudan with special reference to Moringa oleifera seeds*. *Water S.A.* 5 No. 2

- JAHN, S.(1984) *Traditional Water Clarification Methods Using Scientific Observation to Maximize Efficiency*. *Waterlines* 2: 27-28
- JAHN, S.(1988) *Using Moringa seeds as coagulants in developing countries*. *Journal of American Water Works Association* 80 :43–50
- JAIMES, M. (1995) *Estudios de mezclado en el proceso de Coagulación-Floculación para el tratamiento de aguas residuales industriales*. Tesis Ingeniero Químico. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.
- JEKEL, M.; (1991) *Aluminum in water: How it can be removed? Use of aluminum salts in treatment*. *Proceedings of the Int. Water Supply Ass.*, Copenhagen (Denmark)
- KAGGWA, R. , Mulalelo C.I., Denny P., Okurut T. (2001)*The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda*, *Water Res.*, 35 No 3: 795-807
- KALAC, P. y Krausova. (2005). *A review of dietary polyamines: Formation, implications for growth and health and occurrence in foods*. *Food Chemistry* 90: 219-230
- KAWUAMURA, S.; (1991) *Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment*. *Journal of American Water Works Association* October (1991) : 88-91
- KAZUHISA, Y., Echigo T. (1992). *Ocurrence of halotolerant and halophilic histamine-forming bacteria in red meat fish products*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58 (3): 515- 520.
- KIRCHMER, C. (1977) “*Aspectos Químicos y físicos de la coagulación del agua*” curso sobre tecnología de tratamiento de agua para países en desarrollo .CEPIS, Lima.37 p.
- LANDEO, G. y Ruiz, A.1996. *Producción de harina de pescado*.153p.
- LEE, S., Lee S., Jang K. Lee T.:(1995) *Microbial flocculant from Arcuadendron SP-49*.*Biotechnol. Lett.* 17, 95-100.

- LEIVA, L., Jorge N., Cáceres S., Páez H., Gómez M.; (1997) *Empleo del gel de almidón de productos regionales como coadyuvante en el tratamiento de aguas*. Información Tecnológica 8 No. 2 169-175
- LEIVA, L., Jorge N., Gómez M. (1998) *Uso del gel del almidón de arroz como coadyuvante de floculación en la potabilización de aguas naturales*. Información tecnológica 9 No. 3 : 371-377
- LEZAMA, T. y Rosillo, V, (2001). *Propuesta de un plan estratégico de gestión ambiental en una empresa pesquera de harina y aceite de pescado*. Trabajo de Investigación para optar el Título de Ing. Pesquero, UNALM, Lima. 118p.
- LIEW, A., Noor M., Ng, Y. ; (2004) *Turbid Water Clarification using extraction of Cowpea seeds*. KKU Engineering Journal 31 No. 2 :73-82
- LILLIEHÖÖK, H.; (2005). *Use of sand filtration on river water flocculated with Moringa Oleifera*. MSc Thesis. Luleå University of Technology, Luleå ,Sweden ISSN: 1402-1617
- LÓPEZ, F. y Goycoolea, Valdez y Calderón de la Barca. (2006) *Goma de mezquite: una alternativa al uso del mezquite*. Interciencia. 31 (3): 183-188.
- LUND, E., Jahn S. (1980). *Water Purification with Primitive Flocculation Methods as Done in Sudanese Villages*. 2nd International Conference on the Impact of Viral Diseases on the Development of African and Middle East Countries.
- MALLEVIALLE, J., Bruchet A., Fiessinger F.; (1984) *How safe are organic polymers in water treatment*. Journal of American Water Works Association 76 431-436
- MARTYN, C., Barker D., Osmond C., Harris, E., Edwardson, J ., Lacey, R.; (1989) *Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminium in drinking water*. Lancet 1 59–62
- MATHUR, V. y Mathur, N. (2005) *Fenugreek and other lesser known legume galactomannan-polysaccharides: scope for developments*. Journal of Scientific and Industrial Research 64:475-481.

- MATSUHIRO, B., Lillo L., Sáenz C., Urzúa C. y Zárata O. (2006) Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. Carbohydrate polymers 63:263-267.
- MCCOLLISTER, D., Oyen E., Rowe V.; (1964) *Toxicology of Acrylamide*. Toxicol. Appl Pharmacol.6 172-181
- MENDOZA, N., Valladares J, Cifuentes , A .(1998). Conservación de concentrado de agua de cola para la elaboración de harina de pescado integral Universidad de Concepción. Facultad de Farmacia .Dpto. de Bromatología, Nutrición y Dietética, Concepción. Chile. Revista Información Tecnológica. Vol 9 N°4
- MEYSSAMI, B., Kasaeian A.B.; (2005) *Use of coagulants in treatment of olive oil wastewater model solutions by induced air flotation*. Bioresource Technology 96 303-307
- MILLER, R., Kopfler F., Kelty K., Stober J., Ulmer N.S.; (1984) *The occurrence of aluminium in drinking water*. JAWWA 76:84-91
- MILLER,S., Furgate, E., Oyanedel C., Smith J. y Zimmerman J. (2008) Toward understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. Environmental Science and Technology 12(42):4274-4279.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. D.S N° 021-2009 .Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Publicada el 20-11-2009. Perú, Normas Legales(en línea) consultado el 28 de Julio del 2013. Disponible en: <http://www.vivienda.gob.pe/>
- MINISTERIO DE PESQUERÍA, 2001.Protocolo para el monitoreo de Efluentes y Cuerpo marino receptor.
- MIRETZKY, P., Muñoz, C. y Carrillo.C(2008) Experimental binding of lead to a low cost on biosorbent: Nopal (*Opuntis streptacantha*). Bioresource technology 99:1211-1217.

- MISHRA, A., Bajpai M.; (2006) *The flocculation performance of Tamarindus mucilage in relation to removal of vat and direct dies*. Bioresource Technology 97 :1055-1059
- MUYIBI, S., Okuofu, C.;(1995a)*Coagulation of low turbidity surface water with Moringa oleifera seeds*. Int. J. Environ. Stud. 48 :263–273
- MUYIBI, S., Evison L. ; (1995b) *Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbidwater with Moringa oleifera seeds*. Water Research 29 No. 12: 2689-2695
- MUYIBI, S., Evison, L.M.; (1996) *Coagulation of turbid water and softening of hardwater with Moringa oleifera seeds*. Int. J. Environ. Stud. 49 247–259
- MYSELS, K. (1967) “Introduction to Colloid Chemistry”.Intersciencie Publishers, INC. New York.475 p.
- NACHEVA, M. , Torres, B., Ramírez, C. , López, A. y Cardoso, V. (1996) *Characterization and coagulation-flocculation treatability of Mexico city wastewater applying ferric chloride and polymers*. Water Science Technology 34(3-4):235-247.
- NDABIGENGESERE, A. y Narasiah K., Talbot B.; (1995) *Active agents and mechanism ofcoagulation of turbid waters using Moringa oleifera*. Water Research 29 No. 2 February 703-710
- NDABIGENGESERE, A. y Narasiah K. (1996) *Influence of operating parameters on turbidity removalby coagulation with Moringa oleifera seeds*. Environ. Tech 17 :1103-1112
- NAJM, I., Tate C. y Selby D (1998)*Optimizing enhanced coagulation with PAC. A case study*. Journal of AWWA 90 No. 10 :88-95
- NKHATA, D.(2001) *Moringa as an alternative to aluminium sulphate. An article from people and systems for water, sanitation and health*. Proceedings from 27th WEDC Conference.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1993. *Nutrient requirements of fish*. Washington, D.C., National Academy Press, 114 pp.
- NO, H., y Meyers, S. (2000). Application of chitosan for treatment of wastewaters. In G. Ware (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Tucson: Springer-Verlag New York Inc .Vol. 163: 1-28.
- OLSEN, A.; (1987) *Low technology water purification by bentone clay and Moringa oleifera seed flocculation as performed in Sudanese villages: effects on Schistosoma mansoni, Cercariae*.Water Research. 21, No. 5 :517–522
- OKUDA, T., Baes A. , Nishijima W. y Okada M.; (1999) *Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed*. Water Research Vol 33 No 15:3373-3378
- OKUDA, T., Baes A. , Nishijima W.y Okada M.(2001a) *Isolation and characterization of coagulant extracted from Moringa oleifera seed by salt solution*. Water Research 35 No. 2: 405-410
- OKUDA, T., Baes A., Nishijima W. y Okada M.(2001b) *Coagulation mechanism of Salt solution:extracted active component in Moringa oleifera seed*. Water Research 35 No. 3: 830-834
- O'MELIA,Ch.(1969) “Coagulation Process: theoretical concepts useful in design”,Chapel Hill; University of North Carolina; 67p.
- OTEGUI, M. (2007) Endosperm cell walls: formation, composition and functions. In: Plant Cell Monogr 8. Springer-Verlag Berlín Heidelberg. 159-177
- ÖZACAR, M. y Sengil I.; (2000)*Effectiveness of tannins obtained from Valonia as a coagulant aid fordewatering of sludge*. Wat. Res. 34 No 4 1407-1412
- ÖZACAR, M. y Sengil I. ;(2002) *The use of tanins from Turkish acorns (Valonia) in water treatment as a coagulant and coagulant aid*. Turkish J. Eng. Env. Sci. 26 :255-263

- ÖZACAR, M. y Sengil I. (2003) *Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles*. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng. Aspects* 229 85-96
- OKUZUMI, M., Awano, M. y Ohki, Y. (1984). Effects of temperature, pH value and Na Cl concentration on histamine formation of N-group bacteria (Psychrophilic and Halophilic histamine-forming bacteria). *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, 50 (10): 1757-1762.
- PARAZAK, D., Burkhardt, C., McCarthy, K. ,& Stehlin, M. (1988). Hydrophobic flocculation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 123(1), 59-72.
- PESCA PERÚ (1994).Informe de análisis de los efluentes. Composición de sanguaza y agua de bombeo. Departamento de aseguramiento de la calidad. Pesca Perú. U.O 3411.Informe, Lima.50p.
- PESCA PERÚ (1995a).Implementación del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental-para Gerencia de Producción ,Lima.25p
- PESCA PERÚ (1995b).Informe de análisis de los efluentes. Composición de sanguaza y agua de bombeo. Departamento de Aseguramiento de la Calidad Pesca Peru.U.O.3103.Informe, Lima.50p.
- PÉREZ, J. (1977) “Ensayos sobre Coagulación- Floculación”. Manual de Métodos Modernos en el Diseño de Plantas de Tratamiento. Tomo II. Instituto de Ingeniería Sanitaria, UNMSA-CEPIS, La Paz.98p.
- PINOTTI, A., Bevilacqua, A.y Zaritzky, N. (1997). Optimization of the flocculation stage in a model system of a food emulsion waste using chitosan as polyelectrolyte. *Journal of Food Engineering*, 32(1), 69-81.

- PINTO, V. , Pereira, M., Gallao, M. y Sousa de Brito, E. (2007). NMR study of galactomannans from the sedes of mesquite tree (*Prosopis juliflora* (Sw) DC). Food chemistry 101:70-73.
- PIZARDI,C.(1992) Produccion de harinas especiales.Seminario:Tecnologias modernas en la elaboraci3n de harina de pescado.Colegio de Ingenieros del Per3,Lima.11p.
- PIZARDI, C. (2010).Nueva Tecnolog3a para el tratamiento del agua de bombeo en la elaboraci3n de harina de pescado. Tesis para optar el grado de Doctor en Ingenier3a Ambiental. Universidad Nacional Federico Villareal.Lima.
- PRODUCE (Ministerio de la producci3n) .Lmites M3ximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas complementarias.Decreto Supremo N3 010-2008-Produce.
- PONS, S. (2005). "Estudio de alternativas para la evaluaci3n de la frescura y la calidad del boquer3n (*Engraulis encrasicolus*) y sus derivados" Tesis de doctorado. Universidad de Barcelona Consultado el 22 junio 2013.Disponible en: <http://www.tdx.cesca.es/TDX-0907105-090359>
- RAGHUWANSHI, P., Mandloi M., Sharma A. J. Malviya H. S. Chaudhari S.; (2002) *Improving filtrate quality using agrobased materials as Coagulant Aid*. Water Quality Research Journal of Canada 37 No.4: 745-756
- RAM3REZ, C. (1992) Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Colecci3n libro de texto. Universidad Aut3noma Metropolitana. M3xico. 203p.
- RAM3REZ, A. (1973) "Anteproyecto de una planta de tratamiento de agua de cola por precipitaci3n con un coagulante (Biocar-2) en la industria de reducci3n de anchoveta2.Tesis Ing. Pesquero, UNFV, Lima.80 p.
- RENAULT, F., Sancey, B., Badot, P. M., y Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes - An eco-friendly approach.*European Polymer Journal*, 45(5), 1337-1348.

- RESTREPO, O. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Facultad de minas. Disponible en:http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

- RÍOS, R. y Quintana, M. (2004) Manejo general del cultivo de Nopal. Secretaria de la Reforma Agraria. Colegio de postgraduados- México.

- RODRÍGUEZ, M.(2002). Recuperación de proteínas del agua de cola empleando polímeros naturales. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional Agraria La Molina.85p.

- RUIZ, C. y Moral, A. (2001). Production of biogenic amines and their potential use as quality control índices for hake (*Merluccius merluccius*, L.) stored in ice. *Journal of Food Science* 66(7):1030-1032

- SANNAN, T., Kurita, K., Ogura, K.y Iwakura, Y. (1978). Studies on chitin: 7. I.r. spectroscopic determination of degree of deacetylation.*Polymer*, 19(4), 458-459.

- SAN ROMÁN,C.(1973) “Recuperación de las proteínas en el agua de cola por precipitación con sulfato amónico”. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero.Universidad Nacional Federico Villarreal.Lima.55p.

- SCHECHER, W y Driscoll, C.:(1988) *An evaluation of equilibrium calculations within acidification models: The effect of uncertainty in measured chemical components. Water Resour. Res.* 24 533-542

- SEPÚLVEDA, E., Sáenz, C., Aliaga, E. y Aceituno, C. (2007) Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments* 68:534-545.

- SHARMA, P., Kumari P., Srivastava M.M, Srivasatava S. (2006) *Removal of cadmium fromaqueous system by shelled Moringa oleifera Lam. seed power.* *Bioresource technology* 97 299-305

- SINGH, R., Tripathy, T. , Karmakar, G. , Rath, S. , Karmakar, N. , Pandey, S., Kannan, K. Jain, S. y Lan, N (2000) Novel biodegradable flocculants based on polysaccharides. *Current Science* 78(7): 798-803.
- SINCERO, A y Sincero, G. (2003) *Physycal Chemical Treatment of Water and Wastewater*. IWA Publishing CRC Press. U.K.
- SMEWW-APHA-AWWA-WEF.21thEd. Part 9221G.2. Approved by SM Committee: 2006.2005.Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group.Other Escherichia coli Procedures.
- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9260B,21 st Ed.Approved by SM Committee:2006
- SRIVASTAVA, M y Kapoor, V. (2005) Seed galactomannans: an overview. *Chemistry & Biodiversity* 2: 295-317.
- STRAND, S. , Nordengen, T., Y Ostgaard, K. (2002). Efficiency of chitosans applied for flocculation of different bacteria. *Water Research*, 36(19), 4745-4752.
- SUTHERLAND, J., Folkard G. , Mtawali, M. ,Grant, W. (1994) *Moringa oleifera as a natural coagulant*. Proceedings of the 20th WEDC Conference: Affordable Water Supply and Sanitation. Colombo (Sri Lanka)
- SWIFT, G. (1997) Non-medical biodegradable polymers: environmentally degradable polymers. En: *Handbook of biodegradable polymers*. OPA Overseas Publishers Association. Amsterdan.
- TAO, Z y Colab. (2011). A survey of histamine content in seafood sold in markets of nine countries. *Food Control* 22: 430-432
- TAYLOR, S. (1986). Histamine Food Poisoning: Toxicology and Clinical Aspects. *Critical Reviews in Toxicology*, 17 (2): 91 – 127
- TOKURA, S.y Tamura, H. (2007). Chitin and Chitosan. In C. Editor in,xA& P. K. Johannis (Eds.), *Comprehensive Glycoscience*, (pp. 449-475). Oxford: Elsevier.

- TORNES, E y George, P. (1970) “Algunos aspectos de la producción de harina y aceite de pescado”. Informe Técnico N°3. Proyecto de Investigación y Desarrollo Pesquero. MAC-PNUD-FAO. Caracas. 32 p.
- TORNES, E y George, P. (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. Caracas. 30 p.
- TRIPATHI, P., Chaudhuri M., Bokil S.D. (1976) *Nirmali seed-a naturally occurring coagulant*. Indian J. Environ. Health 18 272-280
- VAN BENCHOSTEN., Edzward,;(1990) *Chemical aspects using aluminium salts. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminium chloride*. Water Res 24 1519-1526
- VASUDEVAN, D., Gopalakrishna K.; (2002). *Coagulation using ecofriendly natural coagulants*. Proceedings of the 26 th WEDC Conference: Sustainable Environmental Sanitation and Water Services. Calcutta (India)
- WANG, L. , Hund, y Shamma N. (2005a) Physicochemical Treatment Processes. Vol 3 Handbook of Environmental Engineering. Humana Press. New. Jersey
- WATANABE, K., Uehara, H., Sato, M., Konosu, S. (1985). Seasonal variation of extractive nitrogenous constituents in the muscle of the *Halocynthia roretzi*. Bull. Of the Jap. Soc. Scien. Fish. 51 (8): 1293-1298.
- WINDSOR, H., Barlow, S., (1984) Introducción a los productos de pesquerías. Editorial Acribia.
- WEEBER, W. (2003) Control de la Calidad del Agua. Procesos Físicoquímicos. Reverté. España. 654 pp.

- WU, Y., Cui, W., Eskin, N.A.M. y Goff H.D. (2009) An investigation of four commercial galactomannans on their emulsion and rheological properties. *Food Research International* 42(8): 1141-1146.

- ZHANG, J., Zhang, F., Luo, Y., Yang, H.(2006) *A preliminary study on Cactus as coagulant in watertreatment*. *Process Biochemistry* 41 730-733

- ZENG, D., Wu, J., y Kennedy, J. (2008). Application of a chitosanflocculant to water treatment. *Carbohydrate Polymers*, 71(1): 135-139.

VIII.ANEXOS

ANEXO 1

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA MUESTRALÍQUIDA (DIGESA)

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS OLORES SEGÚN SU PROCEDENCIA

TIPO DE OLOR	TIPO DE AGUA
Inodoro	Típico de aguas dulces y frescas
Olor metálico	Típico de aguas subterráneas
Olor a sulfuro	Típico de aguas residuales domésticas, de materia orgánica y en general, de sistemas anaeróbicos.
Olor a vegetal	Típico de aguas poco profundas, de humedales y estuarios
Olor pútrico	Típico de lixiviados de residuos sólidos y de aguas procedentes de plantas de tratamiento.
Olor a pescado	Típico de aguas oceánicas y de cultivos piscícolas.

2. DESCRIPCIÓN DEL COLOR DE LAS AGUAS RESIDUALES

TIPO DE COLOR	TIPO DE AGUA
Incoloro	Típico de aguas frescas y dulces.
Grisáceo	Típico de aguas residuales domesticas
Amarillo sin turbidez	Típico de aguas subterráneas, de estuarias y de pantanos.
Amarillo turbio	Típico de aguas correntosos y/o cargados de limos y arcillas.
Amarillo verdoso	Típico de lagos y aguas ricas en fitoplancton
Cafés u oscuras	Típico de aguas con altos contenidos de materia orgánica.

3. ASPECTO DE LA MUESTRA

Da referencia del grado de homogeneidad o consistencia de la muestra. Se describirá:

1. Aspecto uniforme y transparente
2. Aspecto uniforme pero turbio
3. Presencia de sólidos sedimentables
4. Presencia de material vegetal
5. Presencia de biota visible.
6. Presencia de materiales de origen antrópico
7. Presencia de gases o efervescencia

ANEXO 2

ÍNDICE DE WILLCOMB PARA CARACTERIZACIÓN DE FLÓCULOS (ECKENFELDER, 1989)

Índice	Descripción del Índice de Willcomb
0	Flóculo coloidal sin ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible.
4	Disperso. Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lento).
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.

ANEXO 3

REGISTRO DE FOTOGRAFÍAS

Utilizando el coagulante C/H ala dosis de 1:1 en 500 ml de agua de cola



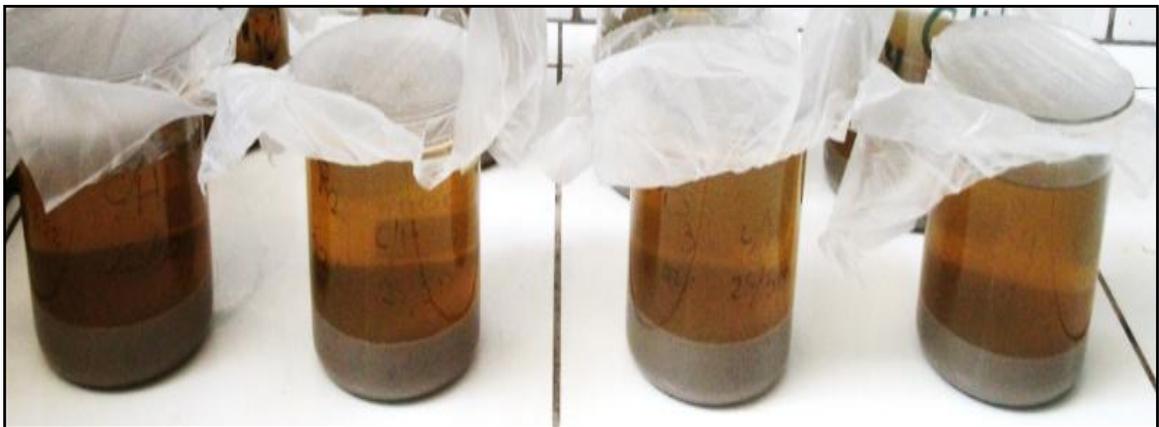
Utilizando el coagulante C/H ala dosis de 1:5 en 500ml de agua de cola



Utilizando el coagulante C/H ala dosis de 5:10 en 500ml de agua de cola



Utilizando el coagulante C/H ala dosis de 25:50 en 500ml de agua de cola



ANEXO 4

Analisis estadístico

ANEXO 4

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Resumen de los resultados de los factores tipo de coagulante/floculante vs dosis de coagulante/floculante para las variables turbidez, pH, conductividad eléctrica y temperatura según grupo de tratamiento y diseño experimental realizado.

Diseño Experimental	Factor 1	Factor 2	Variables				Factor 1	Factor 2	Variables			
	Tipo de Coagulante / Floculante	Dosis (ml)	Turbidez	Conductividad eléctrica	pH	Temperatura	Tipo de Coagulante / Floculante	Dosis (ml)	Turbidez	Conductividad eléctrica	pH	Temperatura
PRIMER DISEÑO EXPERIMENTAL	H	1	1964	23.1	6.17	23	C	1	3930	24.6	5.85	23
	H	1	4530	27	6.2	24	C	1	5170	23.4	6.19	23
	H	1	3340	24.9	6.06	23	C	1	6530	23.4	6.29	23
	H	1	3670	26	6.21	23	C	1	8560	24.3	5.85	23
	H	2.5	1860	19.8	6.12	23	C	2.5	3670	24.8	6.3	23
	H	2.5	2560	23.9	6.16	24	C	2.5	7670	28.3	6.27	23
	H	2.5	1320	24.6	5.97	23	C	2.5	9020	23.5	6.24	23
	H	2.5	1350	29.3	6.13	23	C	2.5	4710	23.4	6.34	23
	H	5	520	23.6	6.09	23	C	5	3440	23.9	6.33	23
	H	5	1285	24.6	6.08	24	C	5	6520	24.3	6.24	23
	H	5	506	23.9	6.05	23	C	5	4790	23.9	6.22	23
	H	5	634	25.1	6.03	23	C	5	4690	24.2	6.37	23
	H	10	1104	23.2	5.89	23	C	10	3650	24	6.31	23
	H	10	610	23.8	5.93	24	C	10	9770	22.6	6.24	23
	H	10	710	23.1	5.91	23	C	10	4250	22.2	6.31	23
H	10	735	24.9	5.88	23	C	10	4300	23.2	6.3	23	

Análisis de varianza para las variables turbidez, pH, conductividad eléctrica y temperatura.

Variable: turbidez

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	127888024.5	127888024.5	47.25	<.0001**
Dosis	3	17980780.8	5993593.6	2.21	0.1125NS
Tipo*Dosis	3	5038193.3	1679397.8	0.62	0.6086NS

* Indica diferencias significativas ($p < 0,05$)

** Indica diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)

NS: No significativo

Variable: pH

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	0.23977813	0.23977813	26.04	<.0001**
Dosis	3	0.05800938	0.01933646	2.10	0.1268NS
Tipo*Dosis	3	0.26460937	0.08820312	9.58	0.0002**

*Indica diferencias significativas ($p < 0,05$)

** Indica diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)

NS: No significativo

Variable : conductividad eléctrica

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	1.44500000	1.44500000	0.46	0.5061NS
Dosis	3	8.64250000	2.88083333	0.91	0.4516NS
Tipo*Dosis	3	4.01250000	1.33750000	0.42	0.7391NS

Variable:temperatura

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	0.50000000	0.50000000	4.00	0.0569 NS
Dosis	3	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000 NS
Tipo*Dosis	3	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000 NS

Prueba de Tukey

“Medias con la misma letra no son significativamente diferentes”

Variable: turbidez

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
C	5666.9	A
H	1668.6	B

Variable:pH

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
C	6.22813	A
H	6.05500	B

Variable: conductividad eléctrica

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
C	24.000	A
H	24.4250	A

Variable: temperatura

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
C	23.000	A
H	23.250	A

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

SEGUNDO Y TERCER DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseño Experimental	Factor 1	Factor 2	Variables				Factor 1	Factor 2	Variables			
	Tipo de Coagulante / Floculante	Dosis (ml)	Turbidez	Conductividad eléctrica	pH	Temperatura	Tipo de Coagulante / Floculante	Dosis (ml)	Turbidez	Conductividad eléctrica	pH	Temperatura
SEGUNDO Y TERCER DISEÑO EXPERIMENTAL	H/C	1	5710	22.4	6.25	23	C/H	1	750	22.7	6.02	23
	H/C	1	3460	24.2	6.18	23	C/H	1	1255	23	5.97	24
	H/C	1	1925	24.7	6.35	23	C/H	1	875	23.8	5.82	24
	H/C	1	5490	22.6	6.43	23	C/H	1	1220	24.4	5.49	22
	H/C	2.5	2040	23.6	6.13	23	C/H	2.5	1520	22.6	5.99	24
	H/C	2.5	550	23	6.14	23	C/H	2.5	4100	22.5	5.93	24
	H/C	2.5	4990	22.3	6.31	23	C/H	2.5	1315	21.5	5.95	22
	H/C	2.5	2810	20.2	6.25	23	C/H	2.5	1290	21.2	5.71	23
	H/C	5	965	23	6.09	23	C/H	5	1295	25.8	6.06	24
	H/C	5	2130	23.1	6.23	23	C/H	5	795	25.9	6.01	22
	H/C	5	765	20.7	6.18	23	C/H	5	735	21.7	5.85	23
	H/C	5	1170	23	6.04	23	C/H	5	84.7	24.9	5.65	24
	H/C	10	600	26.2	6.1	23	C/H	10	680	21.1	6.01	22
	H/C	10	1620	21	6	23	C/H	10	950	23.9	5.92	23
	H/C	10	1625	23.1	5.86	23	C/H	10	565	24.1	5.79	24
	H/C	10	2480	23.8	5.94	23	C/H	10	520	21.9	5.77	24

Análisis de varianza para las variables turbidez, pH, conductividad eléctrica y temperatura.

Variable: turbidez

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	12979894.63	12979894.63	10.58	0.0034**
Dosis	3	15912091.01	5304030.34	4.32	0.0143NS
Tipo*Dosis	3	9281383.13	3093794.38	2.52	0.0818NS

* Indica diferencias significativas ($p < 0,05$)

** Indica diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)

NS: No significativo

Variable: pH

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	0.64411250	0.64411250	32.77	<.0001**
Dosis	3	0.09603750	0.03201250	1.63	0.2090NS
Tipo*Dosis	3	0.14583750	0.04861250	2.47	0.0860NS

Variable: conductividad eléctrica

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	0.52531250	0.52531250	0.25	0.6198NS
Dosis	3	10.24593750	3.41531250	1.64	0.2060NS
Tipo*Dosis	3	9.91843750	3.30614583	1.59	0.2179NS

Vari

able: temperatura

Fuente	GL	ANOVA SS	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Tipo	1	0.50000000	0.50000000	1.09	0.3067NS
Dosis	3	0.000000	3.41531250	1.64	1.0000NS
Tipo*Dosis	3	9.91843750	3.30614583	1.59	1.0000NS

Prueba de Tukey

“Medias con la misma letra no son significativamente diferentes”

Variable: turbidez

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
HC	2395.6	A
CH	1121.9	B

Variable: pH

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
HC	6.15500	A
CH	5.87125	B

Variable: conductividad eléctrica

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
CH	23.1875	A
HC	22.9313	A

Variable: temperatura

Tipo	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
CH	23.2500	A
HC	23.0000	A

TERCERA ETAPA EXPERIMENTAL

Encontrar la dosis óptima

Prueba de Tukey

“Medias con la misma letra no son significativamente diferentes”

Variable: turbidez

Dosis	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
1	2585.6	A
2.5	2326.9	AB
5	1130.0	AB
10	992.5	B

Variable: pH

Dosis	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
1	6.06375	A
2.5	6.05125	A
5	6.01375	A
10	5.92375	A

Variable: conductividad eléctrica

Dosis	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
1	23.5125	A
2.5	23.4750	A
5	23.1375	A
10	22.1125	A

Variable: temperatura

Dosis	Media	Tukey ($\alpha=0.05$)
1	23.1250	A
2.5	23.1250	A
5	23.1250	A
10	23.1250	A