

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



**“Influencia de la dosificación del polvo de semilla de Moringa Oleifera,
poliacrilamida y pH en el tratamiento fisicoquímico de sanguaza”**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTORES:

Bach. Alva Bazán, Piero Jesús
Bach. Caballero Iparraguirre, Anthony Miuler

ASESOR:

M.SC. Eusebio Lara, Saul Marco
DNI: 32854604
Código ORCID: 0000-0001-6875-240X

Nuevo Chimbote - Perú

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
AGROINDUSTRIAL**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente Informe final de Tesis ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 580-2022-CU-R-UNS) de acuerdo con la denominación siguiente:

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL POLVO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA, POLIACRILAMIDA Y pH EN EL TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DE SANGUAZA”

AUTORES:

Bach. Alva Bazán Piero Jesús

Bach. Caballero Iparraguirre Anthony Miuler



M.Sc. Saul Marco Eusebio Lara

Asesor

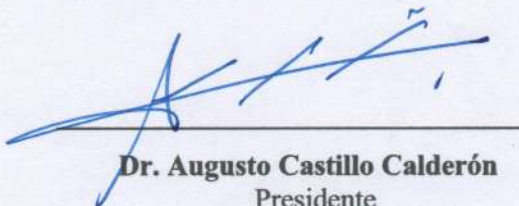
DNI: 32854604

Código ORCID: 0000-0001-6875-240X

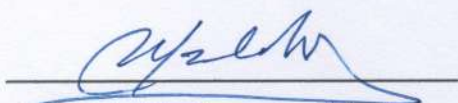


HOJA AVAL DE JURADO EVALUADOR

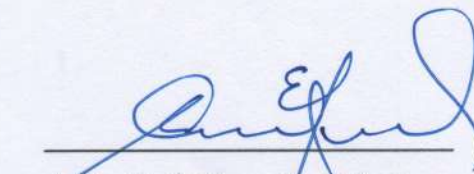
El presente trabajo de tesis titulado “**INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL POLVO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA, POLIACRILAMIDA Y pH EN EL TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DE SANGUAZA**”, para obtener el título profesional de ingeniero agroindustrial, presentado por los bachilleres: **ALVA BAZÁN PIERO JESÚS** y **CABALLERO IPARRAGUIRRE ANTHONY MIULER**, teniendo como asesor al M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara, designado mediante resolución decanal N° 600-2019-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 31 de octubre del 2023, por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N°476-2023-UNS-CFI.



Dr. Augusto Castillo Calderón
Presidente
DNI: 32931123
Código ORCID: 0000-0001-9237-8542



Ms. Elizalde Carranza Caballero
Secretario
DNI: 17886227
Código ORCID: 0000-0002-4571-765X



M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara
Integrante
DNI: 32854604
Código ORCID: 0000-0001-6875-240X

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 horas del día 31 de octubre del dos mil veintitrés, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 476-2023-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Augusto Castillo Calderón** (Presidente)
- **Ms. Elizalde Carranza Caballero** (Secretario)
- **M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara** (Integrante)
- **Dra. Luz María Paucar Menacho** (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis:

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL POLVO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA, POLIACRILAMIDA Y pH EN EL TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DE SANGUAZA”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- **ALVA BAZÁN PIERO JESÚS**
- **CABALLERO IPARRAGUIRRE ANTHONY MIULER**

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.


El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

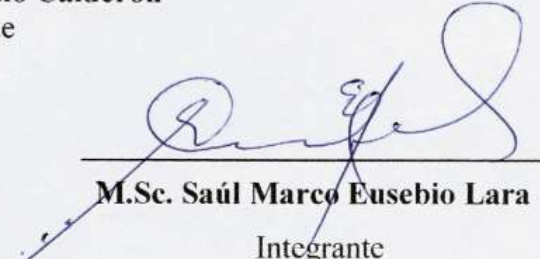
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ALVA BAZÁN PIERO JESÚS	18	Bueno

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 31 de octubre del 2023


Dr. Augusto Castillo Calderón
Presidente


Ms. Elizalde Carranza Caballero
Secretario


M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 horas del día 31 de octubre del dos mil veintitrés, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 476-2023-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Augusto Castillo Calderón** (Presidente)
- **Ms. Elizalde Carranza Caballero** (Secretario)
- **M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara** (Integrante)
- **Dra. Luz María Paucar Menacho** (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis:

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL POLVO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA, POLIACRILAMIDA Y pH EN EL TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE SANGUAZA”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- **ALVA BAZÁN PIERO JESÚS**
- **CABALLERO IPARRAGUIRRE ANTHONY MIULER**

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CABALLERO IPARRAGUIRRE ANTHONY MIULER	18	Bueno

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 31 de octubre del 2023

Dr. Augusto Castillo Calderón
Presidente

Ms. Elizalde Carranza Caballero
Secretario

M.Sc. Saúl Marco Eusebio Lara
Integrante

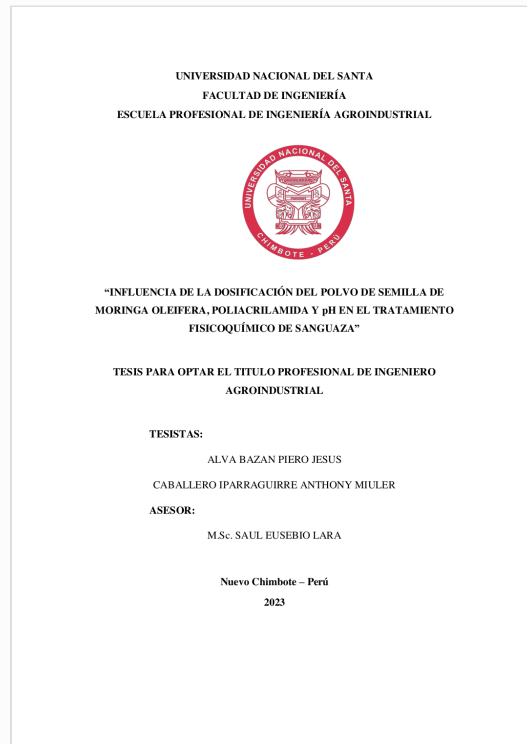


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Alva Bazan
Título del ejercicio:	Alva Bazan
Título de la entrega:	"INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL POLVO DE SEMILLA ...
Nombre del archivo:	Tesis_al_17.10.23_FINAL.pdf
Tamaño del archivo:	3.11M
Total páginas:	111
Total de palabras:	20,151
Total de caracteres:	108,440
Fecha de entrega:	13-nov.-2023 12:39p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega...	2226896767



“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL POLVO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA, POLIACRILAMIDA Y pH EN EL TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE SANGUAZA”

por Alva Bazan

Fecha de entrega: 13-nov-2023 12:39p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2226896767

Nombre del archivo: Tesis_al_17.10.23_FINAL.pdf (3.11M)

Total de palabras: 20151

Total de caracteres: 108440

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL POLVO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA, POLIACRILAMIDA Y pH EN EL TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE SANGUAZA”

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	1library.co Fuente de Internet	1%
4	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Unviersidad de Granada Trabajo del estudiante	<1%

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza diaria y brindarme paz, misericordia y sabiduría en mi caminar.

A mis padres, Ruth y Pedro, por su incesante apoyo y confianza a lo largo de mi formación profesional.

A mi hermana María Cristina, quien me motiva a ser mejor diariamente y ser su ejemplo en su formación.

Piero Jesús Alva Bazán

A Dios, quien guía mi camino, me da vida, salud y me brinda las fuerzas necesarias para vencer los obstáculos y cumplir mis objetivos.

A mis Padres, Marlhene y Dalmiro quienes me brindan incondicionalmente, todo su apoyo, paciencia y amor para realizar cada una de mis metas.

A mi hermano, Juan Carlos, quien con su valor y ejemplo me incentivó a lograr mis objetivos.

A Janeth, quien con su esfuerzo y apoyo constante, fortaleció mi espíritu y me dio ánimo para seguir adelante y continuar en mi formación profesional.

Anthony Miuler Caballero Iparraguirre

AGRADECIMIENTO

A nuestro asesor M.Sc. Saul Eusebio Lara, por su apoyo y orientación para el desarrollo exitoso de nuestra investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNS, quienes nos instruyeron académicamente con valores y sentido humano durante cinco años, motivándonos a ser profesionales íntegros y competitivos.

Al virtuoso ingeniero Lenin Palacios Ambrosio, por sus consejos y apoyo durante el desarrollo de la presente tesis.

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	4
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Definición de sanguaza.....	6
2.2 Definición del proceso de coagulación.....	6
2.3 Tipos de coagulantes	7
2.3.1 Coagulantes sintéticos	7
2.3.2 Coagulantes naturales	9
2.4 Mecanismos del proceso de coagulación.....	12
2.5 Condiciones operacionales y factores determinantes en la coagulación	14
2.5.1 pH del agua de sanguaza.....	14
2.5.2 Temperatura del agua de sanguaza	14
2.5.3 Dosificación del coagulante.....	15
2.5.4 Velocidad de agitación	16
2.6 Definición del proceso de floculación.....	17
2.7 Tipos de floculantes.....	17
2.7.1 Floculantes sintéticos.....	17
2.7.2 Floculantes naturales	18
2.8 Mecanismos del proceso de floculación.....	19
2.8.1 Mecanismo pericinético o browniano.....	19
2.8.2 Mecanismo orticinético	20
2.8.3 Mecanismo de sedimentación diferenciada.....	20
2.9 Parámetros fisicoquímicos.....	20
2.9.1 Sólidos suspendidos totales	20
2.9.2 Turbidez.....	21
2.9.3 Demanda bioquímica de oxígeno	22
2.10 Prueba de jarras	23
2.11 Normas legales peruanas para el control de efluentes industriales.....	24
2.12 Diseño experimental	26
2.12.1 Diseño de superficie de respuesta.....	26
2.12.2 Desarrollo de las variables.....	28

III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1 Materiales	32
3.1.1 Materia prima	32
3.1.2 Insumos.....	32
3.1.3 Reactivos	32
3.1.4 Utensilios	32
3.1.5 Materiales de laboratorio	33
3.1.6 Equipos e instrumentos.....	33
3.2 Métodos	34
3.2.1 Diagrama del procedimiento experimental.....	34
3.2.2 Descripción de procedimientos.....	35
3.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Caracterización fisicoquímica de las semillas de moringa oleífera y determinación de su componente activo que permite la coagulación	44
4.2 Características principales del floculante sintético poliacrilamida.....	46
4.3 Análisis de la efectividad del tratamiento usando coagulante natural a base de semillas de moringa y floculante sintético poliacrilamida en el contenido de SST, DBO y turbidez	47
4.4 Optimización de los parámetros de concentraciones de coagulante natural, floculante sintético poliacrilamida y de las condiciones del medio (pH)	56
4.5 Análisis de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L)	57
4.6 Análisis de demanda bioquímica de oxígeno – DBO5 (mg O2/L).....	62
4.7 Análisis de turbidez (NTU)	66
4.8 Análisis de múltiples respuestas de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O2/L) y turbidez (NTU) por aplicación coagulante natural a base de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y variación de pH en tratamiento de agua de sanguaza	70
4.9 Validación de las variables óptimas	73
4.10 Resultados del diseño experimental con análisis de desviación promedio absoluta para cada variable dependiente.....	75
V. CONCLUSIONES	76
VI. RECOMENDACIONES	77
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características fisicoquímicas del agua de sanguaza.....	6
Tabla 2. Composición química de la semilla de moringa oleífera.....	11
Tabla 3. Perfil de aminoácidos de las semillas de moringa oleífera.....	11
Tabla 4. Límites máximos permisibles para la industria de harina y aceite de pescado según Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE.....	25
Tabla 5. Variables independientes y niveles.....	29
Tabla 6. Variables dependientes e independientes.....	31
Tabla 7. Variables independientes (% coagulante natural, % floculante sintético y pH) consus respectivos niveles (-1, 0 y +1).....	42
Tabla 8. Matriz del diseño experimental de superficie de respuesta Box-Behnken, variables independientes reales y codificadas de % de coagulante natural a base de moringa oleífera, % de floculante sintético poliacrilamida y variación de pH.....	42
Tabla 9. Composición proximal de la semilla moringa oleífera en base húmeda.....	44
Tabla 10. Resultados del diseño experimental Box-Behnken.....	47
Tabla 11. Resultados experimentales de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O ₂ /L) y turbidez (NTU), en agua de sanguaza tratada con coagulante natural a base de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y acondicionamiento de pH.....	57
Tabla 12. Análisis de varianza para sólidos suspendidos totales – SST (mg/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.....	58
Tabla 13. Combinación de los niveles de los factores: coagulante natural a base de moringa oleífera y floculante sintético poliacrilamida con variación de pH, la cual minimiza SST (mg/L) sobre la región indicada en la figura 15.....	60
Tabla 14. Análisis de varianza para demanda bioquímica de oxígeno - DBO ₅ (mg O ₂ /L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético-orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.....	62
Tabla 15. Combinación de los niveles de los factores: coagulante natural a base de moringa oleífera y floculante sintético-orgánico Poliacrilamida con variación de pH, la cual minimiza DBO (mg O ₂ /L) sobre la región indicada en la figura 19.....	65
Tabla 16. Análisis de varianza para turbidez (NTU) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.....	66
Tabla 17. Valores de los niveles de los factores: coagulante natural a base de moringa oleífera y floculante sintético poliacrilamida, con variación de pH en el agua de sanguaza, con respecto a turbidez (NTU) sobre la región indicada.....	69

Tabla 18. Deseabilidad de las variables de respuesta de SST (mg/L), DBO (mg O ₂ /L) y turbidez (NTU) del tratamiento de coagulación mediante coagulante natural a base de moringa oleífera y floculación mediante floculante sintético poliacrilamida y variación de pH en tratamiento de agua de sanguaza	71
Tabla 19. Valores de los niveles de los factores con respecto a la deseabilidad.....	71
Tabla 20. Valores óptimos predichos de las variables de respuestas.....	72
Tabla 21. Características fisicoquímicas de la sanguaza	73
Tabla 22. Valores óptimos de las variables independientes	74
Tabla 23. Variables de respuesta de la sanguaza después de aplicar los valores óptimos para su tratamiento.....	74
Tabla 24. Resultados del diseño experimental con análisis de desviación promedio absoluta para cada variable dependiente.....	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos fisicoquímicos para la coagulación	12
Figura 2. Neutralización de las cargas en proceso de coagulación.....	13
Figura 3. Diagrama de zonas de coagulación en función de la dosificación de coagulante	16
Figura 4. Sistema general de recuperación de grasa, sólidos y tratamiento de efluentes deplantas de harina y aceite de pescado.	26
Figura 5. Diagrama del procedimiento experimental para el tratamiento de sanguaza apartir de polvo de semilla de moringa oleífera y poliacrilamida	34
Figura 6. Diagrama para la obtención del polvo de semilla de moringa mleífera	38
Figura 7. Efectividad de la moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH en la remoción de SST	49
Figura 8. Remoción de SST como efecto de la aplicación de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH	49
Figura 9. Efectividad de la moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH en la remoción de DBO5	51
Figura 10. Remoción de DBO5 como efecto de la aplicación de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH	52
Figura 11. Efectividad de la moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH en la remoción de turbidez .	54
Figura 12. Remoción de turbidez (NTU) como efecto de la aplicación de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH.....	55
Figura 13. Diagrama de pareto de efectos estimados e interacciones para sólidos suspendidos totales – SST (mg/L) (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético poliacrilamida) de sanguaza, con variación de pH	59
Figura 14. Efectos principales para solidos suspendidos totales – SST (mg/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH	60
Figura 15. Superficie de respuesta para la minimización de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L), con acción del coagulante natural de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y pH	61
Figura 16. Diagrama de Pareto de efectos estimados e interacciones para demanda bioquímica de oxígeno – DBO5 (mg O2/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza.....	63

Figura 17. Gráfica de efectos principales para demanda bioquímica de oxígeno – DBO5 (mg O2/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH	64
Figura 18. Superficie de respuesta para la minimización de demanda bioquímica de oxígeno - DBO5 (mg O2/L), con acción del coagulante natural de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y pH.....	66
Figura 19. Diagrama de pareto de efectos estimados e interacciones para turbidez (NTU) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculantesintético Poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.....	68
Figura 20. Efectos principales para turbidez (NTU) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.....	69
Figura 21. Superficie de respuesta para la optimización de turbidez (NTU), con acción delcoagulante natural de moringa oleífera, floculante sintético y pH.....	70
Figura 22. Superficie de respuesta para la optimización de la deseabilidad de las variables de respuesta del tratamiento de coagulación y floculación del agua de sanguaza, mediante el empleo de moringa oleífera como coagulante natural, floculante sintético poliacrilamida y variación de pH del medio.	72
Figura 23. Contorno de la superficie de respuesta para la optimización de la deseabilidad de las variables de respuesta del tratamiento de coagulación y floculación del agua de sanguaza, mediante el empleo de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida floculante sintético orgánico y variación de pH del medio 8, 8.5 y 9.....	75
Figura 24. Determinación de sólidos suspendidos totales del agua de sanguaza	89
Figura 25. Determinación de turbidez del agua de sanguaza	90
Figura 26. Determinación de demanda química de oxígeno	90
Figura 27. Semilla de moringa oleífera	91
Figura 28. Pesado	91
Figura 29. Semillas de moringa oleífera descascaradas en incubadora.....	92
Figura 30. Secado de semillas de moringa oleífera	92
Figura 31. Triturado y tamizado de semillas de moringa oleífera.....	93
Figura 32. Obtención del polvo de semilla de moringa oleífera.....	93
Figura 33. Soluciones de la corrida N° 8 del polvo de semilla de moringa y del agente floculante sintético	94
Figura 34. Regulación de pH del agua de sanguaza	94
Figura 35. Dosificación del polvo de semilla de moringa al agua de sanguaza	94
Figura 36. Dosificación del floculante sintético poliacrilamida	95
Figura 37. Determinación de sólidos suspendidos totales	96

Figura 38. Determinación de turbidez	96
Figura 39. Determinación de DQO5.....	97
Figura 40. Sanguaza tratada.....	97

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la dosificación del polvo de semilla de Moringa oleífera, poliacrilamida y pH en el tratamiento fisicoquímico de la sanguaza en su naturaleza como efluente característico de la industria de harina de pescado. Se caracterizó la sanguaza en términos fisicoquímicos de sólidos suspendidos totales, turbidez y DBO₅. Se obtuvo el polvo de semilla de Moringa oleífera y poliacrilamida para su dosificación en el tratamiento fisicoquímico de la sanguaza mediante un reactor adaptado para el test de jarras, a través de los mecanismos de acción de coagulación y floculación. Se definieron las variables independientes (polvo de semilla de Moringa Oleífera, poliacrilamida y pH) y dependientes (sólidos suspendidos totales, turbidez y DBO₅), donde el diseño experimental usado fue el de Box Benhken.

Se definieron las concentraciones del polvo de semilla de Moringa oleífera en 2%, 4% y 6% (p/v), de poliacrilamida al 0.1%, 0.3% y 0.5% (v/v) y pH de 8, 8.5 y 9. Se evaluaron dichas variables de estudio a través del análisis de varianza, diagrama de Pareto, gráfica de efectos principales, coeficiente de regresión, superficie de respuesta estimada y optimización de respuesta para finalmente llegar a validar la dosificación óptima.

La corrida 8 fue la mejor, según nuestro diseño experimental para el tratamiento fisicoquímico de sanguaza, ya que presentó valores de remoción de SST de 219 a 115 mg/L, representando el 48% de minimización; disminución de la DBO₅ de 142 a 67.6 mg O₂/L, representando el 59.44% de minimización y remoción de la Turbidez desde 272 a 79.3 NTU, representando un 71% en su disminución. Así mismo, esta combinación se encuentra dentro de los valores de dosificación de 2 – 4% de

concentración de polvo de semilla de Moringa oleífera, del 0.1 – 0.3% de concentración de poliacrilamida y pH del medio entre 8.5 y 9.

Palabras clave: semilla de Moringa oleífera, poliacrilamida, sanguaza, coagulación, floculación.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of the dosage of *Moringa Oleifera* seed powder, polyacrylamide and pH on the physicochemical treatment of sanguaza in its nature as a characteristic effluent of the fishmeal industry. Blood was characterized in physicochemical terms (total suspended solids, turbidity and BOD5). The *Moringa Oleifera* seed powder and polyacrylamide were obtained for subsequent dosage, through the jar test, in the physicochemical treatment of the sanguaza through the mechanism of action of coagulation and flocculation. The independent variables (*Moringa Oleifera* seed powder, polyacrylamide and pH) and dependent variables (total suspended solids, turbidity and BOD5) were defined, where the experimental design used was that of Box Benhken.

The concentrations of *Moringa Oleifera* seed powder were defined at 2%, 4% and 6% (w/v), polyacrylamide at 0.1%, 0.3% and 0.5% (v/v) and pH of 8, 8.5 and 9. They were evaluated. said study variables through variance analysis, Pareto diagram, main effects graph, regression coefficient, estimated response surface and response optimization to finally validate the optimal dosage.

Run 8 was the best, according to our experimental design for the physicochemical treatment of sanguaza, since it presented TSS removal values of 219 to 115 mg/L, representing 48% minimization; decrease in BOD5 from 142 to 67.6 mg O₂/L, representing 59.44% minimization and removal of Turbidity from 272 to 79.3 NTU, representing a 71% decrease. Likewise, this combination is within the dosage values of 2 – 4% concentration of *Moringa Oleifera* seed powder, 0.1 – 0.3% concentration of polyacrylamide and pH of the medium between 8.5 and 9.

Keywords: *Moringa Oleifera* seed, Polyacrylamide, sanguaza, coagulation, flocculation.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe la necesidad de disminuir el impacto de contaminación ambiental de los efluentes industriales pesqueros, partiendo desde la gestión y tratamiento adecuado de los mismos, como el caso de las empresas dedicadas a la producción de harina y aceite de pescado, quienes emplean agentes coagulantes y floculantes para tal fin. En este sentido, a fin de disminuir el uso integral de agentes sintéticos, los cuales tienen muy baja biodegradabilidad en el agua y generan al mismo tiempo efectos nocivos sobre la salud de animales acuáticos y a su vez a quienes va destinado la harina como pienso, se propone la combinación de natural y sintético con fines de efectividad.

Esta investigación se justifica en la medida que contribuye a reducir la contaminación ambiental al tratar un efluente característico pesquero proponiendo una alternativa de combinación, con objeto de eficacia, de un agente coagulante natural y floculante sintético, además de disminuir la potencialidad de peligro sobre la salud animal y humana; aprovechando las materias primas con las que cuenta la región como lo es la Moringa Oleífera y que, al ser de origen natural, su grado de toxicidad es nulo, no son corrosivos y poseen buena biodegradabilidad.

Para el presente trabajo, se utilizó el software StatgraphHics Centurion XV y haciendo uso del diseño experimental Box Behnken, se establecerá de manera aleatoria la influencia de las variables independientes: a) polvo de semilla de Moringa oleífera, b) poliacrilamida y c) pH y las combinaciones que estas generan con la interacción de sus niveles, por lo que a su vez se evaluará las variables respuestas: i) sólidos suspendidos totales, ii) turbidez y iii) DBO₅, mediante el análisis de varianza, diagrama de Pareto, gráfica de efectos principales, coeficiente de regresión, superficie

de respuesta estimada y optimización de respuesta para finalmente llegar a validar la dosificación óptima.

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo general evaluar la influencia de la dosificación óptima de la combinación del polvo de semilla de Moringa Oleífera, poliacrilamida y pH en el tratamiento fisicoquímico de sanguaza de una empresa pesquera de Chimbote y como objetivos específicos: Obtener y caracterizar el polvo de semilla de Moringa oleífera y poliacrilamida; obtener muestras y caracterizar la sanguaza en términos fisicoquímicos; preparar dosis de las combinaciones planteadas; dosificar sistemáticamente; evaluar el efecto sobre los parámetros fisicoquímicos (sólidos suspendidos totales, turbidez y DBO_5); seleccionar la dosificación óptima.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definición de sanguaza

Está constituida de sangre de la materia prima que es el pescado, algunos sólidos de pescado más agua de mar y algo de agua de bombeo. (CONAM, s.f). Consiste en una mezcla de agua, sólidos de pescado 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. En la tabla 1 se registra información de algunas características fisicoquímicas que presenta el agua de sanguaza. 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 (Núñez, 2014).

Tabla 1 Características fisicoquímicas del agua de sanguaza

<i>PARÁMETROS</i>	<i>VALORES</i>
Sólidos Totales	4.6 – 7.3 %
Grasa	0.8 – 1.2 %
Proteína Total	2.2 – 4.4 %
DQO	93000 ppm
pH	6.9

Nota: Recuperado de (Núñez, 2014)

2.2 Definición del proceso de coagulación

El proceso coagulación consiste en la desestabilización electroquímica de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas a las que están sometidas (fuerzas de atracción de Van der Waals y fuerzas de repulsión electrostáticas), por medio de la adición de los coagulantes (sintéticos o naturales)

bajo determinadas condiciones de operación. (Metcalf, 2015). El tratamiento más usado y eficaz en el tratamiento de aguas y efluentes industriales es el de la coagulación y, en contra parte, es el que representa un costo relativamente elevado cuando la dosificación no es la óptima y aún más presentando resultados contrarios a lo esperado (Lafleur *et al.*, 2018).

2.3 Tipos de coagulantes

2.3.1 Coagulantes sintéticos

Estos compuestos son ampliamente utilizados en el proceso de tratamiento de efluentes debido a su eficiencia, disponibilidad, costo y efectividad (Shak y Wu, 2014). Sin embargo, a pesar de su alta capacidad para promover la coagulación y floculación, estas sales químicas pueden resultar perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. (Vijayaraghavan, 2017).

Los coagulantes más utilizados en las industrias son los siguientes: Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$, Cloruro férrico ($FeCl_3$), Sulfato Férrico ($Fe_2(SO_4)_3$), Sulfato Ferroso ($FeSO_4$), Polielectrolitos (Bravo, 2017).

Asimismo, las sales de Aluminio y Hierro son las más empleadas en las industrias. Por otro lado, existen pruebas sustanciales que la utilización de agentes coagulantes de origen químico para el tratamiento de aguas y efluentes de la industria pesquera son nocivos y acarrear problemas como:

- La presencia de monómeros residuales los cuales son indeseables debido a su neurotoxicidad y fuertes propiedades carcinogénicas (Vijayaraghavan, 2017).
- El sedimento obtenido se convierte en tóxico, ya que, al recuperarla y retornarla al proceso de elaboración de harina, y luego con su adición

directa o indirecta en los alimentos, puede provocar cáncer en los animales alimentados con harinas que contengan tales sustancias (Lafleur et al., 2018).

- La acumulación de neurotoxinas en la cadena trófica y favorecer el desarrollo de Alzheimer en el humano (Fuentes et al., 2008).
- Si la materia orgánica no se aprovecha y es dispuesta en los cuerpos receptores, se vuelve un problema de contaminación ambiental y una pérdida económica para la industria al desperdiciarla (Arias-Lizárraga & Méndez-Gómez, 2014).

2.3.1.1 Sales de aluminio

Entre las más usadas en términos comerciales están el sulfato de aluminio y sulfato de sodio. Tanto las sales de aluminio con las de hierro producen reacciones complejas cuando son adicionadas al agua a tratar, donde se obtienen productos que son más eficaces que los mismos iones. Dichas sales, reaccionan frente a la alcalinidad del agua a tratar y generan los hidróxidos de aluminio o hierro, los cuales son insolubles, y terminan en precipitados (Andía, 2010). Es un polvo de color marfil, naturalmente hidratado, es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por ello sus soluciones acuosas son ácidas. Su pH varía entre 2 y 3,8. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad (Barboza, 2014).

2.3.1.2 Sales de hierro

Estas sales producen un conglomerado de mayor peso y a su vez genera una mayor velocidad de sedimentación. En términos comerciales, las sales más empleadas son el cloruro férrico (FeCl_3), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) y sulfato ferroso (FeSO_4) (Ojeda, 2012).

2.3.2 Coagulantes naturales

Debido a su característica fundamental de biodegradabilidad, son una fuente potencialmente alternativa debido a que no repercute negativamente sobre el medio ambiente, en comparación con los coagulantes de origen sintético. Básicamente son de origen vegetal, los cuales cuentan con agentes coagulantes activos como carbohidratos, proteínas y taninos (Bravo, 2017).

Asimismo, las semillas de maíz y Nirmali son muy estudiadas, así como el frijol común. Sin embargo, la materia prima que más ha despertado interés y más estudios existen es la Moringa Oleífera, gracias a sus componentes activos coagulantes, los cuales son proteínas catiónicas de diferentes pesos moleculares, que a su vez se caracterizan por ser antimicrobianos (Bravo, 2017).

2.3.2.1 Moringa Oleífera

La Moringa Oleífera es una planta de origen tropical que posee semillas que contienen un aceite que es comestible y a su vez una sustancia soluble en agua la cual posee excelentes propiedades coagulantes para el tratamiento de aguas y aguas residuales (Ndabigengesere et al., 2015).

El extracto acuoso de las semillas de M. Oleífera se compara bastante favorablemente con la sal de aluminio, que en la actualidad es el coagulante industrial más empleado (Vijayaraghavan, 2014)

Los aminoácidos aniónicos, ácido glutámico (Glu) y ácido aspártico (Asp) y los aminoácidos catiónicos como la histidina (His), arginina (Arg) y lisina (Lis) presentes indican que la proteína activa de las semillas de *M. oleífera* es un polielectrolito que contiene aminoácidos polares con carga positiva y negativa en su superficie. Estos aminoácidos tienen la capacidad de interactuar con las partículas coloidales responsables de la turbidez en el agua, lo que contribuye al proceso de coagulación y floculación. Los grupos radicales de Asp, Glu, His, Arg y Lis reaccionan químicamente con las partículas coloidales, formando puentes químicos que aumentan su tamaño y promueven su precipitación gradual. Los sitios cargados positivamente de la proteína activa de las semillas de *Moringa Oleífera* se unirán a varias partículas coloidales en uno o más sitios, debido a la atracción de las cargas opuestas. Del mismo modo, los sitios cargados negativamente de la proteína también se adherirán a las partículas coloidales a través de intercambios iónicos, la formación de puentes de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals. (Campos et al., 2013).

Los estudios preliminares como el de Liñan (2010) sugieren que dicha sustancia tiene un contenido importante de proteínas como se muestra en la tabla 2, puede estar compuesta por una o varias proteínas, con características catiónicas, solubles en agua. Otro estudio como el de Campos et al. (2013) nos muestran el perfil de aminoácidos contenidos en la semilla de *Moringa* identificando 17 aminoácidos como se muestra en la tabla 3.

Tabla 2 Composición química de la semilla de Moringa Oleífera

Componente	Cantidad
Materia seca (%)	47.2
Proteínas (%)	17.5
Cenizas (%)	2.1
Carbohidrato (%)	18.1
Calcio (mg/ 100g)	46.52
Potasio (mg/ 100g)	53.51
Hierro (mg/ 100g)	7.1

Nota: Adaptado de Liñan (2010)

Tabla 3 Perfil de aminoácidos de las semillas de Moringa oleífera

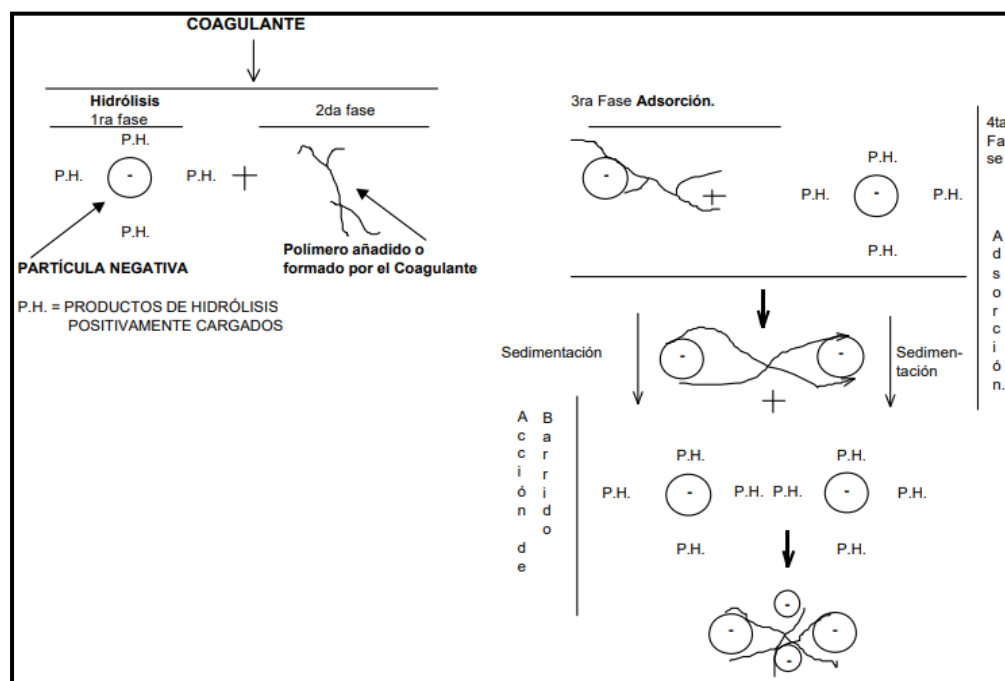
Componente	Cantidad (% p/p)
Ácido aspártico	0.35
Ácido glutámico	1.68
Serina	0.23
Glicina	0.44
Histidina	0.19
Arginina	0.68
Treonina	0.47
Alanina	0,43
Prolina	0.55
Tirosina	0.10
Valina	0.53
Metionina	0.16
Cistina	0.19
Isoleucina	0,24
Leucina	0.44
Fenilalanina	0,27
Lisina	0.26

Nota: Obtenido de Campos et al. (2013)

2.4 Mecanismos del proceso de coagulación

La coagulación es un proceso que se da de manera rápida y la desestabilización de las partículas coloidales se obtienen por mecanismos fisicoquímicos como se muestra en la figura 1, los cuales vienen dados por la hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión, consecuentemente la formación de compuestos químicos poliméricos, la adsorción de cadenas poliméricas por los coloides, adsorción mutua de coloides y finalmente sucede la acción de barrido (Andía, 2010).

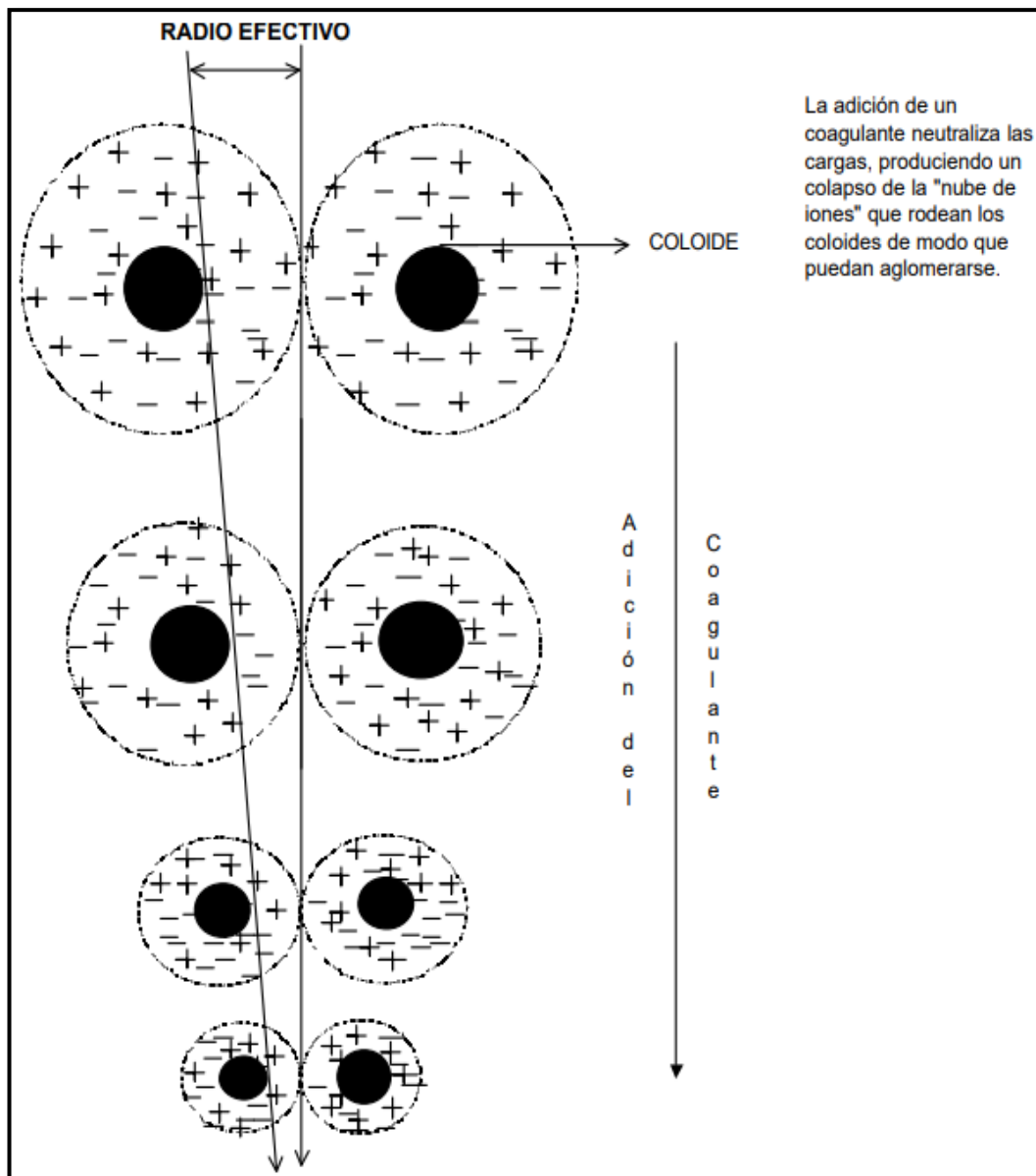
Figura 1 Mecanismos fisicoquímicos para la coagulación



Nota: Reproducido de Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, por Y. Andía, 2000 (<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>)

Asimismo, la figura 2, representa el efecto de la adición del coagulante y su influencia sobre la neutralización de las cargas de los coloides, su consecuente aglomeración y dejando al sistema dispuesto a la etapa siguiente de floculación.

Figura 2 Neutralización de las cargas en proceso de coagulación



Nota: Reproducido de Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, por Y. Andía, 2000 (<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>)

2.5 Condiciones operacionales y factores determinantes en la coagulación

2.5.1 pH del agua de sanguaza

El pH es un factor determinante en el proceso de coagulación, este tiene lugar de manera rápida bajo ciertos rangos de pH óptimos del agua a tratar y esto está sujeto a los tipos de iones y de alcalinidad del agua. De esta manera, el rango de pH está sujeto tanto a la naturaleza del efluente a tratar como la del coagulante (Andía, 2000).

- Para sales de Aluminio el agua a tratar debe estar en los rangos de pH de 6.5 a 9.0 unidades para dar paso a la coagulación de manera óptima.
- Para sales de Hierro, el agua a tratar debe estar en los rangos de pH de 7.0 a 9.0 unidades para dar paso a la coagulación de manera óptima (Andía, 2000).

Asimismo, si por su naturaleza, el agua a tratar no está en el rango óptimo de pH, se pueden emplear coadyuvantes de la coagulación, tales como cal viva, cal apagada, carbonato sódico, sosa caústica, ácidos minerales, entre otros (Mangini, et. al. 2016).

2.5.2 Temperatura del agua de sanguaza

Temperaturas muy elevadas, por encima de los 50° C a 1 atm, no dan paso a una coagulación eficiente. De la misma manera, temperaturas bajas, por debajo de los 10°C a 1 atm, desfavorecen la coagulación. Debido a que la densidad del agua a tratar está en función a su temperatura, los diferentes grados de esta afectan directamente sobre la energía cinética de los coloides, haciendo de la coagulación un proceso lento e inapropiado. Industrialmente, los procesos de

coagulación de efluentes se dan a cabo a temperaturas ambientales y constantes (Bravo, 2017).

2.5.3 Dosificación del coagulante

Según estudios realizados, el comportamiento del coagulante con respecto a su dosificación se puede detallar como se muestra en la figura 03 de la siguiente manera. (Andía, 2010).

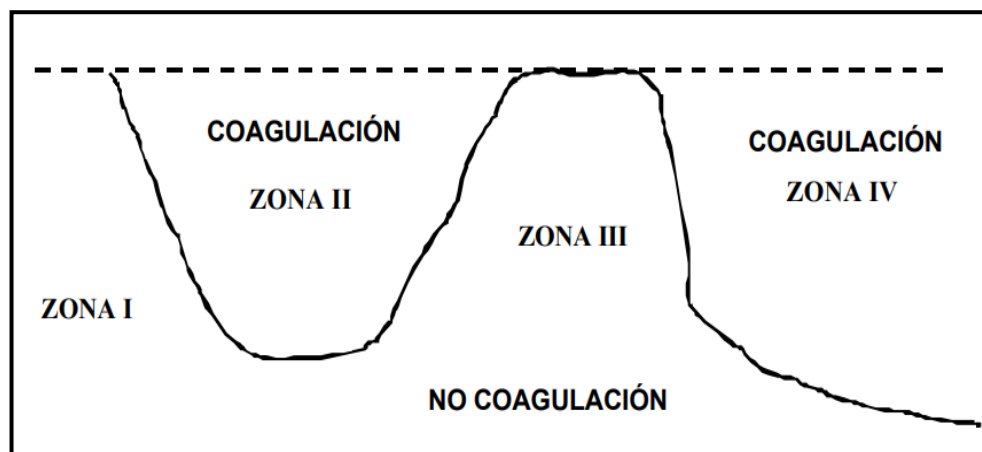
Zona I.- La dosificación del agente coagulante es insuficiente como para provocar la desestabilización de las partículas coloidales.

Zona II.- El incremento de la dosificación del coagulante provoca una aglutinación veloz de los coloides.

Zona III.- Al incrementarse la dosificación, llega un punto en el que no se produce la coagulación ideal debido a que las partículas coloidales se estabilizan nuevamente.

Zona IV.- Se produce la sobresaturación del sistema cuando se incrementa la dosificación del coagulante, generando asimismo una precipitación veloz de los coagulantes haciendo un efecto de barrido que arrastra consigo hacia el fondo las partículas que originan la turbiedad del agua en tratamiento.

Figura 3 Diagrama de zonas de coagulación en función de la dosificación de coagulante



Nota: Reproducido de Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, por Y. Andía, 2000 (<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>)

2.5.4 Velocidad de agitación

Es deseable que la carga iónica de los coloides se neutralice en su totalidad para que la coagulación sea óptima. Para esto, es necesario que el agente coagulante se difunda lo más rápido que sea posible en todo el sistema debido a que el tiempo de coagulación es muy corto. En las industrias generalmente la velocidad de mezcla es constante, debido a que agitaciones desiguales provocaría que porciones de agua tengan una alta concentración de agentes coagulantes mientras que otra porción tenga poca. Así pues, la agitación debe ser homogénea (Mangini et. al, 2016).

2.6 Definición del proceso de floculación

El proceso de floculación implica la captación mecánica de las partículas neutralizadas generando un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta manera, se logra un aumento formidable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, incrementando así la velocidad de sedimentación de los flóculos (Cabrera et al., 2019).

2.7 Tipos de floculantes

2.7.1 Floculantes sintéticos

Existen distintos compuestos químicos para el tratamiento de aguas residuales, siendo el sulfato de aluminio y el cloruro férrico los más empleados. Sin embargo, los más empleados en la industria son los polímeros sintéticos (usualmente poliacrilamidas) por su fácil obtención en el mercado y bajo valor económico, asimismo, de acuerdo con estudios, según el carácter iónico de estos grupos activos, se pueden distinguir los siguientes (Mangini et. al, 2013):

- Polielectrolitos no iónicos: Son catalogadas como poliacrilamidas.
- Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente, usualmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico.
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

2.7.1.1 Poliacrilamida

Es un homopolímero de acrilamida. Generalmente es sintetizado en forma de cadena lineal o entrecruzado. También es usado junto con otros monómeros como lo es el acrilato de sodio para formar varios copolímeros. Absorbe agua fácilmente. Sucede que, la poliacrilamida

propiamente no es tóxica pero la acrilamida residual no polimerizada, la cual es una neurotoxina, está presente en pequeñas cantidades en la acrilamida polimerizada, por lo que siempre se recomienda manipular con precaución. El uso industrial más relevante de la poliacrilamida es la de flocular sólidos contenidos en un líquido. Esto aplica para el tratamiento de efluentes industriales y es suministrado en forma líquida o polvo (Daughlon, 2010).

2.7.2 Floculantes naturales

Se refieren a polímeros naturales obtenidos de fuentes vegetales o animales. Estos polímeros son extraídos de manera fácil y no requieren purificación adicional. Se consideran amigables con el medio ambiente y seguros. Un ejemplo de floculante es el alginato de sodio, derivado del ácido algínico extraído de algas marinas, que puede utilizarse para mejorar el tratamiento con cloruro de hierro y sulfato de aluminio. Además, existen otros floculantes orgánicos naturales, como los almidones extraídos de tubérculos como la papa y la yuca, así como los extractos de semillas de plantas. (Mishra et al., 2011).

Los polisacáridos derivados de la celulosa también forman parte de los floculantes naturales utilizados en el tratamiento de efluentes industriales específicos como hidrometalurgia, papel, tenería, textiles, etc. (Díaz, 2014).

2.7.2.1 Almidón

Los polímeros de origen natural, como el almidón, poseen diferentes propiedades que realzan su importancia en la utilización para el tratamiento de efluentes industriales, tales como la alta viabilidad para formar geles, ya que posee una estructura molecular compleja y a su vez

gran capacidad de hidratación (normalmente hasta un 80% de incremento en su peso); posee alta idoneidad complejante lo cual implica la retención de iones metálicos; también por su naturaleza son potencialmente biodegradables a diferencia de los floculantes de origen sintético. Son de muy baja o nula toxicidad, por lo que también es común emplearlo como aditivos alimenticios en diversos productos. De esta manera, el tratamiento de efluentes industriales basado en la utilización de floculantes de origen natural, se hace cada vez más necesaria e imprescindible, teniendo en cuenta las condiciones económicas actuales y la promoción de la disminución de los impactos negativo al medio ambiente de muchos países (Herrera, 2015).

2.8 Mecanismos del proceso de floculación

Básicamente, la floculación se entiende como un proceso causado por la colisión de sus partículas y en el que intervienen, secuencialmente, tres mecanismos de transporte (Vargas, 2016).

2.8.1 Mecanismo pericinético o browniano

Luego de que el coagulante se disperse en el agua, es necesario que se de paso a la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño inferior a una micra empiecen a aglutinarse. A este movimiento natural de las moléculas de agua se le conoce como movimiento browniano y actúa formando el flóculo inicial hasta que alcance el tamaño a una micra para luego dar paso a la floculación ortocinética (Quispe, 2012).

2.8.2 Mecanismo ortocinético

Se fundamenta en las interacciones entre partículas causadas por el movimiento del agua, el cual es generado por una energía externa aplicada al sistema, ya sea de origen mecánico o hidráulico. Después de que el agua ha sido coagulada, es necesario permitir la formación de agregados de microfloculos. Esto ocurre inicialmente a través de un proceso llamado floculación pericinetica, seguido de la floculación ortocinética. De esta manera, ambos mecanismos se complementan, por lo que no se obtendría una buena eficiencia si las dos no interactúan (Díaz, 2014).

2.8.3 Mecanismo de sedimentación diferenciada

Este mecanismo es debido a las partículas coloidales grandes que, luego de precipitarse, colisionan con las partículas más pequeñas, las cuales van descendiendo lentamente, y al final ambas se aglomeran (Díaz, 2014).

2.9 Parámetros fisicoquímicos

2.9.1 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos consisten en partículas tanto orgánicas como inorgánicas que no se disuelven en el agua. Entre las partículas orgánicas se encuentran fibras de plantas, células de algas, bacterias, protozoos y otros sólidos biológicos. Por otro lado, las partículas inorgánicas incluyen arcilla, arena y sales, según lo establecido (APHA 2012).

Los materiales suspendidos totales se refieren al residuo no filtrable presente en una muestra de agua, ya sea de origen natural o residual, ya sea de origen industrial o doméstico. (APHA, 2012).

2.9.2 Turbidez

La turbidez del agua se origina debido a la presencia de sustancias suspendidas y coloidales, como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como microorganismos microscópicos. La turbidez es una propiedad óptica que provoca la dispersión y absorción de la luz en lugar de su transmisión sin cambios en la dirección del flujo a través de la muestra. En otras palabras, se refiere a la capacidad de una suspensión para reemitir la luz en lugar de transmitirla a través de la misma. Cuanto mayor sea la dispersión de la luz, mayor será la turbidez. La relación entre la turbidez y la concentración o peso de las partículas suspendidas es compleja debido a que el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas afectan las propiedades de dispersión de la luz en la suspensión. La medición de la turbidez es crucial tanto en el agua potable como en numerosas industrias alimentarias, de bebidas y tratamiento de aguas residuales. Los valores de turbidez ayudan a determinar el nivel de tratamiento necesario para una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, en consecuencia, la velocidad de filtración más adecuada, la eficacia de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como la potabilidad del agua (APHA, 2012).

El método estándar para medir la turbidez se basa en el uso de un turbidímetro. La mayoría de los turbidímetros comerciales, diseñados para medir bajos niveles de turbidez, proporcionan resultados precisos de la intensidad de la luz dispersada en una dirección específica, principalmente en ángulos rectos a la luz incidente. Los turbidímetros con detectores de luz dispersa ubicados a 90° del haz incidente se conocen como nefelómetros. Debido a su precisión,

sensibilidad y aplicabilidad en una amplia gama de turbidez, el método nefelométrico es preferible a los métodos visuales. Los resultados de las mediciones nefelométricas se informan en unidades de turbidez nefelométrica (NTU).

2.9.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado en el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como domésticas, que mide la cantidad de oxígeno que se consume al degradar biológicamente la materia orgánica presente en un sistema (AWWA, 2012).

Puesto que la oxidación biológica continúa indefinidamente, cuando se ha consumido aproximadamente el 95% o más del oxígeno necesario, la prueba de la DBO se ha limitado de manera arbitraria a 20 días. Este periodo es demasiado largo para que la medición de la DBO sea útil, por lo cual una prueba de 5 días (DBO_5) que se lleva a cabo a 20°C se ha convertido en el estándar analítico. De esta manera, se puede determinar la DBO tanto por métodos de instrumentación (con un oxímetro o mediante el sistema OXITOP) o por dilución mediante OD (Método Directo o Ensayo por Dilución) (APHA, 2012). Se puede determinar también la DBO_5 a partir de la determinación de la DQO correlacionándolos con un factor de biodegradabilidad, la cual es válida y empleada para el control de aguas residuales (Hernández & Galan, 2015).

Cuanto mayor es la DBO, mayor es la materia orgánica presente y por ende mayor es el problema que crea la descomposición de la misma en el sistema. Las muestras de agua residual o una dilución conveniente de las mismas se incuban por cinco días a 20°C en la oscuridad (APHA, 2012).

2.10 Prueba de jarras

La prueba de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del efluente líquido que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el tratamiento la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de coagulantes y floculantes por sí solos o en sus combinaciones. Asimismo, existen autores quienes afirman que la prueba de jarras puede usarse para fines tales como los que se presenta. (Satterfield, 2016)

- Evaluar, determinar y optimizar las variables fisicoquímicas del proceso de coagulación y/o floculación, esto es, medir el desempeño de uno o varios productos dados (coagulante, floculante) y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos.
- Evaluar y comparar el desempeño de una o varias combinaciones de productos frente a la calidad final del agua obtenida.
- Determinar el pH óptimo de coagulación.
- En operación, tomar decisiones rápidas y efectivas sobre la dosificación de productos a utilizar de acuerdo a las variaciones en la calidad del agua a tratar.
- Evaluar los efectos de modificaciones en las condiciones de operación de la planta sobre el proceso de tratamiento y manejo de efluentes industriales.

2.11 Normas legales peruanas para el control de efluentes industriales

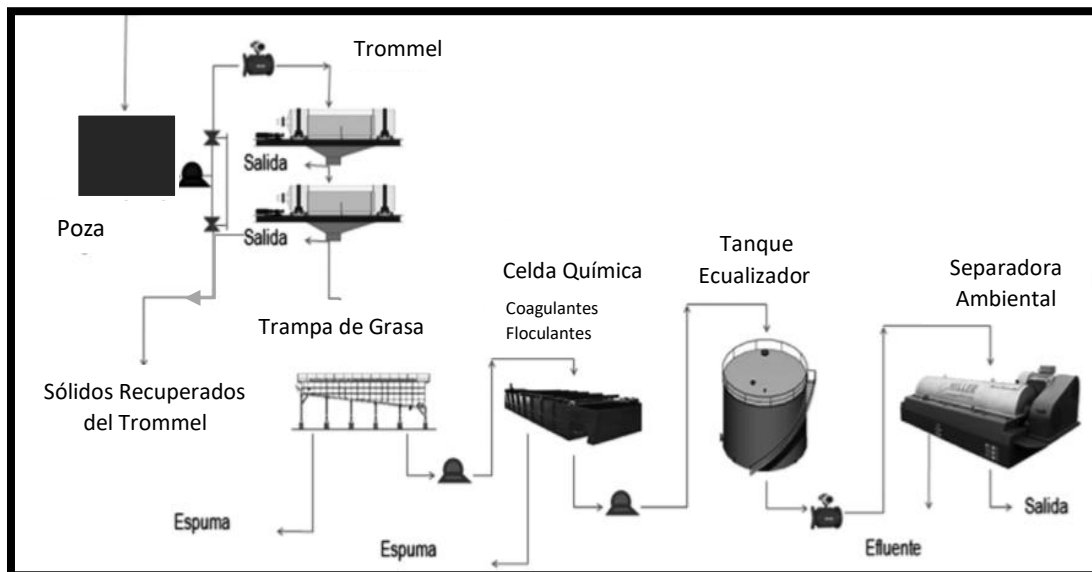
Límites Máximos Permisibles para la industria de harina y aceite de pescado, según Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE, sostiene lo siguiente: “Los establecimientos industriales pesqueros deben contar con un adecuado sistema integrado de tratamiento y disposición final de los efluentes generados, el cual debe considerar aspectos técnicos. Para cumplir los LMP establecidos, los titulares de los establecimientos industriales pesqueros deberán implementar sistemas de tratamiento químico, bioquímico u otros complementarios al tratamiento físico. En los casos en que la disposición final de los efluentes se realice mediante emisarios submarinos fuera de la zona de protección ambiental litoral, éstos deberán tener un difusor al final del emisario, a una distancia y profundidad suficientes para garantizar una adecuada dilución bajo las condiciones técnicas a fin de que guarden consistencia y coherencia con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua”.

Tabla 4 Límites máximos permisibles para la industria de harina y aceite de pescado según Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE.

PARÁMETROS CONTAMINANTES	I	II	MÉTODO DE ANÁLISIS	FORMATO
	LMP DE LOS EFLUENTES QUE SERÁN VERTIDOS DENTRO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL LITORAL	LMP DE LOS EFLUENTES QUE SERÁN VERTIDOS FUERA DE LA ZONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL LITORAL		
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	100 mg/L	700 mg/L	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20°. Ed. Part. 25400 Washington Protocolo de Monitoreo aprobado por Resolución Ministerial N° 003 -2002 - PE	Los valores consisten en el promedio diario mínimo de tres muestras de un compuesto según se establece en la Resolución Ministerial N°003 - 2002 – PE.
pH	6 – 9	5 - 9	Resolución Ministerial N°003 - 2002 - PE	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	≤ 60		Resolución Ministerial N°003 - 2002 - PE	

Para cumplir con los LMP, las industrias pesqueras han implementado un sistema de tratamiento de sus efluentes, conforme al esquema general mostrado a continuación.

Figura 4 Sistema general de recuperación de grasa, sólidos y tratamiento de efluentes de plantas de harina y aceite de pescado.



Nota: Sociedad Nacional de Pesquería, 2017

2.12 Diseño experimental

2.12.1 Diseño de superficie de respuesta

El diseño de superficie de respuesta es un conjunto de técnicas avanzadas utilizadas en el diseño de experimentos (DOE). Inicialmente, el propósito de estas técnicas es proporcionar valores razonables de la variable respuesta mediante experimentación, para luego determinar el modelo matemático que mejor se ajuste a los datos obtenidos. En última instancia, el objetivo es establecer los valores de los factores que optimicen la variable respuesta, logrando así determinar las condiciones óptimas de operación del sistema.

En este tipo de diseño experimental, para ajustar un modelo de segundo orden, se requiere tener al menos tres niveles para cada factor (-1, 0, +1). A diferencia del diseño de primer orden, donde se busca la ortogonalidad, en este caso se busca la rotabilidad. Un diseño se considera rotable cuando la varianza de la

respuesta predicha en un punto solo depende de la distancia del punto al centro y no de la dirección.

La rotabilidad es una propiedad importante, ya que la Metodología de Superficies de Respuesta tiene como objetivo la optimización y, dado que desconocemos la ubicación del óptimo, tiene sentido utilizar un diseño que proporcione estimaciones precisas en todas las direcciones.

En el caso de este diseño en particular, se utilizaron variables independientes definidas de acuerdo con las especificaciones de una planta de tratamiento de efluentes industriales. Las variables más importantes consideradas fueron la concentración de agente coagulante natural (moringa oleífera), la concentración de agente floculante sintético (poliacrilamida) y el pH del agua de sanguaza, ello con la finalidad de evaluar la interacción en una optimización de múltiples respuestas, determinando de esta forma la dosis óptima del diseño que se ha planteado.

A) Diseño Box Behnken

Este tipo de diseño se forma a partir de la combinación de factoriales $2k$ con diseños de bloques incompletos. Los diseños resultantes suelen ser más eficientes en términos del número de corridas requeridas. Además de ello, son rotables (o casi rotables) y hace de la estimación de los coeficientes de primer y segundo orden más eficiente.

2.12.2 Desarrollo de las variables

A: Variables independientes

A1: Concentración de agente coagulante: moringa Oleífera (gramos de agente/100 ml de agua destilada)

- Nivel Alto (1) :6%
- Nivel Medio (0): 4%
- Nivel Bajo (-1): 2%

Valores referenciales de acción de un agente coagulante promedio, es por ello que, en el caso de un agente coagulante natural, se le asigna los límites indicados previamente para su evaluación en el diseño experimental (2 a 6% de concentración) (Yixing, B., 2015).

A2: Concentración de un agente floculante: poliacrilamida (gramos de agente / 100 mL de agua destilada)

- Nivel Alto (1) :0.5%
- Nivel Medio (0): 0.3%
- Nivel Bajo (-1): 0.1%

Valores referenciales de acción de un agente floculante promedio, se le asigna los límites indicados previamente para su evaluación en el diseño experimental. (0.1 a 0.5% de concentración) (Yixing, B., 2015).

A3: pH del medio adaptado (muestra de agua de sanguaza)

- Nivel Alto (1) :9
- Nivel Medio (0): 8.5
- Nivel Bajo (-1): 8

Valores referenciales de acción cuando se adapta el pH del efluente a tratar, se le asigna los límites indicados previamente para su evaluación en el diseño experimental (8 a 9) (Andia, 2010). Los valores están indicados en la tabla 5 donde se presentan los niveles y las referencias utilizadas.

Tabla 5 Variables independientes y niveles

VARIABLES (CODIGOS)	NIVELES	REFERENCIA
A1: Concentración de agente coagulante: moringa Oleífera (gramos de agente/100 ml de agua destilada)	Nivel Alto (1): 6% Nivel Medio (0): 4% Nivel Bajo (-1): 2%	Valores referenciales de acción de un agente floculante promedio, se le asigna los límites indicados previamente para su evaluación en el diseño experimental. (0.1 a 0.5% de concentración) (Yixing, B.,2015).
A2: Concentración de agente floculante: poliacrilamida (gramos de agente/100 mL de agua destilada)	Nivel Alto (1): 0.5% Nivel Medio (0): 0.3% Nivel Bajo (-1): 0.1%	
A3: pH del medio adaptado (muestra de agua de sanguaza)	Nivel Alto (1): 9 Nivel Medio (0): 8.5 Nivel Bajo (-1): 8	Valores referenciales de acción cuando se adapta el pH del efluente a tratar, se le asigna los límites indicados previamente para su evaluación en el diseño experimental (8 a 9) (Andia, 2010).

B: VARIABLES DEPENDIENTES

B1: Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)

B2: Turbidez (NTU)

B3: Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O₂/L)

El diseño de superficie de respuesta que se aplicó a nuestro sistema de datos elaborados fue el Diseño Central Compuesto, el cual constará de 15 corridas establecidas. Estos ensayos son propuestos por el programa estadístico Statgraphic Centurión versión 15.2.06 de acuerdo con el diseño de respuesta.

La presentación de variables independientes como dependientes con su definición de términos y unidad de medida son presentadas en la tabla 6.

Tabla 6 Variables dependientes e independientes

TIPO DE VARIABLES	VARIABLE	DEFINICIÓN	UNIDADES
Dependientes	Sólidos Suspendidos Totales	Indica la cantidad de Sólidos presentes en suspensión	mg/L
	Turbidez	Revela la carga de materia suspendida (biológica y no biológica) y coloidal contenida	NTU
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Es la cantidad de oxígeno disuelto que puede ser consumido por oxidación bioquímica de materia orgánica degradable, bajo condiciones específicas.	mg O ₂ /L
Independientes	Concentración de polvo de semilla de Moringa Oleífera	Relación de la masa del agente (polvo de semilla de Moringa Oleífera) por volumen de solución	mg/L
	Concentración de poliacrilamida	Relación de la masa del agente (Poliacrilamida) por volumen de solución	mg/L
	pH del medio	Indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa	

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Química Orgánica, Laboratorio de Química Analítica, Instituto de Investigación de Ingeniería Agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa, ubicado en Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

3.1 Materiales

3.1.1 Materia prima

Se utilizó 20 litros de agua de sanguaza de la empresa pesquera “Don Fernando S.A.C”, pasado previamente por los trommels para la remoción de sólidos en dos etapas; el primero con una perforación de malla de 0.5 mm, y el segundo de 0.3 mm, así como la remoción de grasas (trampa de grasa y celdas DAF).

3.1.2 Insumos

- Semillas de moringa oleífera triturada. (2 kg)
- Agente coagulante: agente coagulante natural (*moringa oleífera*) (1 kg)

3.1.3 Reactivos

- Agente floculante: agente floculante sintético (poliacrilamida) (250 mL)
- Hidróxido de sodio (5 L)
- Agua destilada (50 L)
- Estándares primarios para turbidez
- Estándares primarios para DQO

3.1.4 Utensilios

- Guantes
- Papel Filtro
- Embudo

- Papel aluminio
- Espátula de metal
- Botellas de plástico de 1 L
- Cuchillos de acero
- Cooler

3.1.5 Materiales de laboratorio

- Probetas
- Matraz aforado de 1000 mL
- Buretas de 25 mL
- Pipetas aforadas de 10 mL
- Pipetas graduadas de 1 mL.
- Vasos de precipitación de 10, 50, 100, 500 y 1000 mL
- Micropipeta (100 μ L)
- Varillas de vidrio
- Viales

3.1.6 Equipos e instrumentos

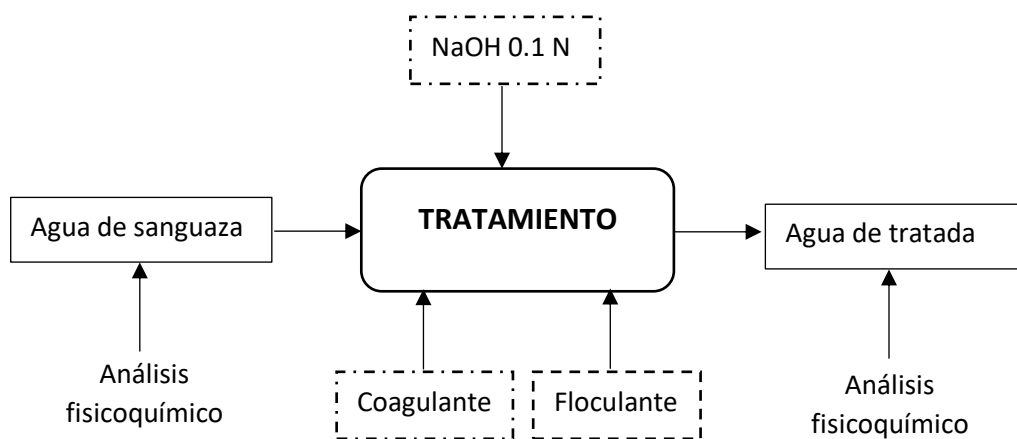
- Balanza analítica (Precisa 321 LX)
- Estufa de secado (POL-EKO SLN 15)
- Turbidímetro (AQUAfast AQ4500)
- Reactor adaptado para test de jarras
- Termoreactor (Thermo Scientific Orion COD 165)
- Colorímetro (Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ3700)
- Agitador magnético
- Cronómetro (Accusplit)

3.2 Métodos

3.2.1 Diagrama del procedimiento experimental

El procedimiento experimental para el tratamiento de sanguaza a partir de polvo de semilla de Moringa oleífera y pH se presenta en la figura 5.

Figura 5 Diagrama del proceso experimental para el tratamiento de sanguaza a partir de polvo de semilla de Moringa oleífera, poliacrilamida y pH.



3.2.2 Descripción de procedimientos

3.2.2.1 Recolección de muestra de sanguaza

El primer paso es la recolección de muestras de sanguaza de la empresa pesquera «Don Fernando S.A.C», estas muestras pasan por un proceso de cribado que es un pretratamiento del efluente, en un tamiz rotativo giratorio, también denominado trommels el cual consta de dos etapas continuas con tamices de 0.3 mm y 0.5 mm, posteriormente pasan a una trampa de grasa donde mediante discos difusores de aire ubicados en la parte inferior del contenedor, eyectan burbujas de aire, el cual contribuye a la separación de grasas y aceites generando de este modo espuma en la superficie de la trampa de grasa, que posteriormente es removida por paletas giratorias en contracorriente hacia un tanque colector de espumas, luego el efluente es destinado hacia un tanque ecualizador (tanque contenedor donde se regula el pH del agua de sanguaza). La muestra es obtenida de un punto de muestreo por medio de una llave de paso de la tubería que transporta el efluente hacia dicho tanque ecualizador. Previamente, se purga por 10 segundos el punto de muestreo para posteriormente ser colectadas en botellas de plástico de 1 L libre de residuos y trasladadas en un cooler y refrigeradas máximo por 24 horas a 4°C en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa.

3.2.2.2 Caracterización del agua de sanguaza en relación con los parámetros fisicoquímicos de sólidos suspendidos totales, turbidez y DBO₅

La muestra obtenida se conserva en refrigeración a 4°C por un periodo máximo de 24 horas previo al análisis a ejecutar. La caracterización se realizará con la finalidad de obtener datos iniciales de las condiciones en las que se encuentra la muestra para que posteriormente se pueda realizar una comparación con el efecto de los agentes sobre el tratamiento del agua de sanguaza en términos de sólidos suspendidos totales, turbidez y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), los cuales serán determinados mediante métodos analíticos detallados en los anexos 02, 03 y 04, respectivamente.

3.2.2.3 Obtención del agente floculante sintético

El agente floculante sintético se obtiene de la distribuidora comercial HIDROTECH. Comercialmente, el más empleado en las industrias pesqueras. El agente floculante Chemiflox 600, es un producto sólido de naturaleza polimérica aniónico de acrilamida con una granulometría de Malla N°16 y abertura 1.18 mm

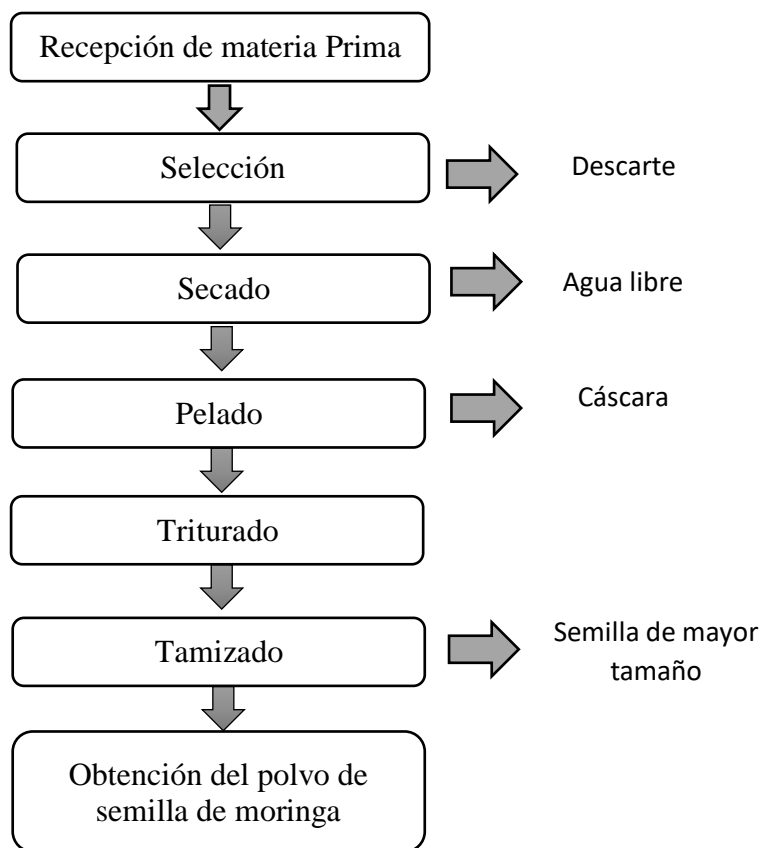
Se prepara en las diluciones concentraciones propuestas para cada ensayo al 0.1%, 0.3% y 0.5% (v/v), según la matriz de experimentos de la Tabla 5 del diseño experimental, es decir 0.1 ml de poliacrilamida/100 ml de agua destilada, 0.3 ml de poliacrilamida/100 ml de agua destilada y 0.5 ml de poliacrilamida/100 ml de agua destilada.

La disolución se realiza en un vaso de precipitado con una agitación lenta por 10 minutos, ayudados de una para así evitar la formación de grumos, y obtener una solución homogénea.

3.2.2.4 Obtención del agente coagulante natural

La metodología utilizada para la obtención del polvo de semilla de Moringa oleífera será la aplicada por García, (2016) que consiste en un proceso de obtención del ingrediente activo de las semillas de Moringa oleífera esto se llevará a cabo en distintas fases siguiendo el siguiente orden: secado, trituración, tamizado, disolución del componente activo coagulante y filtrado. En la primera fase, las semillas de Moringa oleífera se colocarán en una estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas para facilitar la extracción manual de la cáscara de la semilla. En la etapa de trituración, las semillas sin cáscara se añadirán a una licuadora y luego se transferirán a un mortero de cerámica para obtener partículas más pequeñas. A continuación, el polvo resultante se tamizará utilizando tamices con una abertura de 1.3 mm para garantizar la uniformidad de las partículas.

Figura 6 Diagrama para la obtención del polvo de semilla de Moringa Oleifera



3.2.2.5 Preparación de la solución de polvo de semilla de moringa oleífera

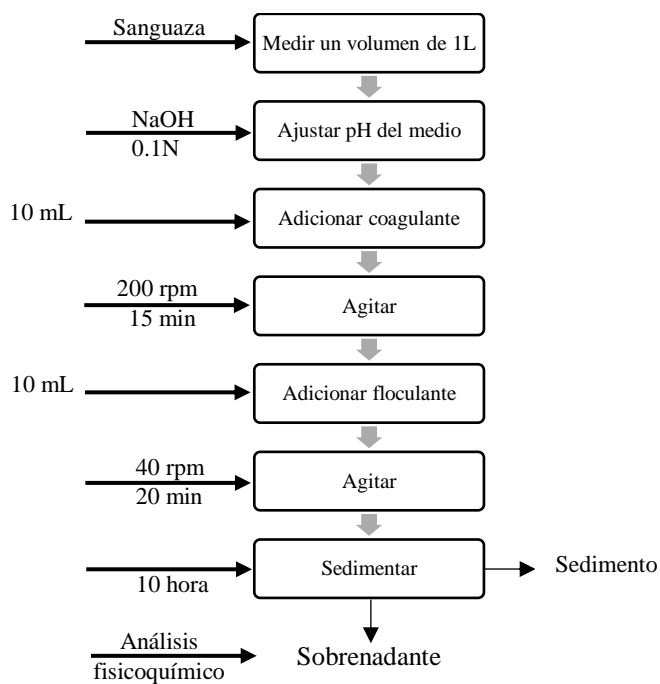
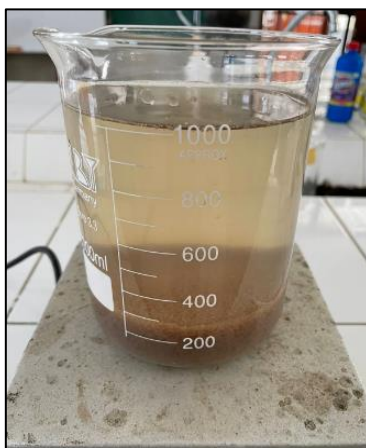
Se disolvió las concentraciones propuestas para cada ensayo al 2%; 4% y 6 % (p/v), según la matriz de experimentos del diseño experimental, es decir 2 g de polvo de semilla de moringa/100 ml de agua destilada, 4 g de polvo de semilla de moringa/100 ml de agua destilada y 6 g de polvo de semilla de moringa/100 ml de agua destilada.

La disolución se realizará en un vaso de precipitado con una agitación lenta ayudados de una bagueta para así evitar la formación de grumos, se realizará la agitación hasta obtener una solución homogénea.

3.2.2.6 Test de jarras

La realización experimental de los ensayos para la dosificación de coagulantes y floculantes se procederá y adaptará a partir del procedimiento estándar de la prueba de jarras establecido por la American Society for Testing and Materials. Esta es la ASTM D2035.

La muestra de sanguaza trabaja con un pH entre 8 y 9 el cual se ajusta con NaOH al 0.1N, posteriormente se adiciona 1 L de agua de sanguaza al vaso de precipitación de 1 L, acondicionado y adaptado para nuestras pruebas. Además, se regula el pH del medio según el ensayo del diseño experimental brindado por el programa estadístico Statgraphics Centurion. Seguido, se adiciona 10 mL de la concentración del agente coagulante de acuerdo al ensayo del diseño experimental. Luego, se enciende el agitador y se ajusta a velocidades de agitación rápida de 200 rpm por un tiempo de 5 minutos. Se adiciona 10 mL de la concentración del agente Floculante según el ensayo del diseño experimental brindado por el programa estadístico Statgraphic y rápidamente se reduce la velocidad de agitación a 40 rpm por un tiempo de 20 minutos, ello con la finalidad de mantener uniformemente suspendidas las partículas del flóculo en el periodo de agitación lenta. Por último, se apaga el equipo adaptado y se deja sedimentar por un periodo de 1 hora, este tiempo de sedimentación lo sugiere la norma ASTM D2035, posteriormente se sigue el proceso visualmente de la sedimentación completa de los flóculos.

Figura 7 Diagrama para la realización del test de jarras**Figura 8** Medio tratado de agua de sanguaza sedimentado**A. Determinación de sólidos suspendidos totales**

Se determinará los sólidos suspendidos totales del sobrenadante del agua de sanguaza por el método APHA 8024. Anexo 01

B. Determinación de turbidez

Se determinará la turbidez de sanguaza por el método US – EPA 180.1.

Anexo 02

C. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), corresponde a la cantidad de oxígeno consumido para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada.

Los métodos para su determinación pueden ser por instrumentación (oxímetro de laboratorio a partir del sistema OXITOP) o por dilución mediante el oxígeno disuelto.

Según Hernández y Galan, 2015, se puede determinar también la DBO₅ a partir de la determinación de la DQO correlacionándolos con un factor de biodegradabilidad, la cual es válida y empleada para el control de aguas. Se determinará la DBO₅ del agua de sanguaza a partir de este último modelo con el método US – EPA 410.4. Anexo 03

3.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.3.1 Determinación de las condiciones óptimas de concentración de coagulante natural (polvo de semilla de moringa), concentración de floculante sintético (poliacrilamida) y pH en la minimización de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L), Demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O₂/L) y turbidez (NTU).

Las variables consideradas en la investigación; usando el software Statgraphics centurión (XV) versión 15.2.06 y haciendo uso del diseño experimental Box Behnken, establecerá de manera aleatoria la influencia de las variables independientes y las combinaciones que estas generan con la interacción de sus niveles tal como se muestra en la tabla 7 y 8 respectivamente.

3.3.2 Diseño estadístico

Tabla 7 Variables independientes (% Coagulante natural, % floculante sintético y pH) con sus respectivos niveles (-1, 0 y +1)

VARIABLES	NIVELES		
	-1	0	1
Coagulante natural (%)	2	4	6
Floculante sintético (%)	0.1	0.3	0.5
pH	8	8.5	9

Tabla 8 Matriz del diseño experimental de superficie de respuesta Box-Behnken, variables independientes reales y codificadas de % de coagulante natural a base de moringa oleífera, % de floculante sintético Poliacrilamida y variación de pH

N° CORRIDA	BLOQUE	VARIABLES INDEPENDIENTES REALES			VARIABLES INDEPENDIENTES CODIFICADAS		
		Coagulante	Floculante	pH	Coagulante	Floculante	pH
		%	%		%	%	
1	1	4	0.3	8.5	0	0	0
2	1	2	0.1	8.5	-1	-1	0
3	1	6	0.1	8.5	1	-1	0
4	1	2	0.5	8.5	-1	1	0
5	1	6	0.5	8.5	1	1	0
6	1	2	0.3	8	-1	0	-1
7	1	6	0.3	8	1	0	-1
8	1	4	0.3	8.5	0	0	0
9	1	2	0.3	9	-1	0	1
10	1	6	0.3	9	1	0	1
11	1	4	0.1	8	0	-1	-1
12	1	4	0.5	8	0	1	-1
13	1	4	0.1	9	0	-1	1
14	1	4	0.5	9	0	1	1
15	1	4	0.3	8.5	0	0	0

3.3.3 Resultados estadísticos – Optimización

Habiendo obtenido los resultados de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O₂/L) y turbidez (NTU), producto de la coagulación y floculación, empleando coagulante natural (polvo de semilla de moringa), floculante sintético (poliacrilamida) y variando el pH, se realizó el tratamiento de los datos que se obtuvieron; usando el software Statgraphics centurión (XV) versión 15.2.06, a través del análisis de varianza, coeficientes de regresión, optimización, diagramas de Pareto, gráfico de efectos principales e interacciones y gráficos de respuestas como análisis estadísticos.

Se analizó las variables de respuestas dependientes y simultáneamente como múltiples respuestas, para así minimizarlas en función de deseabilidad, dándonos como resultados los valores óptimos de concentración de coagulante natural (polvo de semilla de Moringa oleífera), concentración del floculante sintético (poliacrilamida) y pH.

3.3.3.1 Análisis de desviación promedio absoluta

El análisis de desviación promedio absoluta o AAD por sus siglas en inglés (absolute average deviation) es un método directo para describir las desviaciones. El AAD se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$AAD = \left\{ \frac{\left[\sum_{i=1}^p \left(\frac{|y_{iexp} - y_{ical}|}{y_{iexp}} \right) \right]}{p} \right\} * 100$$

Donde y_{iexp} y y_{ical} son respuestas experimentales y calculadas, respectivamente, y p es el número de corridas experimentales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización fisicoquímica de las semillas de moringa oleífera y determinación de su componente activo que permite la coagulación

La composición química de la semilla de moringa de la especie Oleífera Lam, se representa detalladamente en la Tabla 9.

Tabla 9 Composición proximal de la semilla moringa oleífera en base húmeda

Análisis (% Base húmeda)	Media \pm desviación estándar		
	Experimental	Herless, Y., 2017	Castillo, M. y Avendaño, E., 2020
Humedad	8.0 \pm 0,15	8,0 \pm 0.05	5.70 \pm 0,01
Proteína	36.12 \pm 0.05	\pm	30.78 \pm 0.35
Cenizas	3.80 \pm 0.48	\pm	4.42 \pm 0.52

Se muestra que la composición proximal de la semilla de moringa Oleífera evaluada, presenta un contenido de humedad en base húmeda de 8.0 %, en contraste con Herless (2017) y Castillo (2020), quienes demostraron un contenido de humedad entre 5.7 a 8 %, por lo que el contenido de porcentaje de humedad de las semillas de moringa de la especie Oleífera Lam, obtenida del fundo «Alimentos Naturales», situado en la provincia de Casma, está dentro del rango del porcentaje de humedad en base a estudios realizados por los investigadores mencionados. Esta diferencia del 2.3% en Castillo (2020), se estima que es debido a la utilización de semilla de Moringa oleífera de un año de producción previo a su evaluación.

El contenido de proteínas en la semilla de Moringa Oleífera es de 36% (36 g / 100 g), esta cantidad se encuentra próximo al evaluado por Castillo (2020), dicho estudio obtuvo un contenido de proteínas de 30.78% (30.78 g / 100 g). Es

necesario mencionar que un alto contenido de proteínas en la semilla de moringa garantiza la potencialidad de su componente activo como coagulante natural. En base a lo mencionado si comparamos la moringa con otros alimentos de origen vegetal observamos que posee un mayor contenido de proteínas con respecto a la quinua, sorgo y harina de trigo con 13.6, 8.0 y 7.9 g / 100 g respectivamente (Ministerio de salud, 2017), también supera a alimentos de origen animal como la carne de vacuno (21.4 g/ 100 g) y la carne de ave (20 g/ 100 g muestra) (Alvarez, 2017), por lo que lo hace un potencial agente coagulante natural.

Por otro lado, la semilla de moringa oleífera en comparación al haba (*Vicia faba L*), siendo un alimento de origen vegetal se emplea en tratamientos residuales, ya que cuenta con un contenido proteico promedio de 27.88 g / 100 g (Chun 2010). Así también, Tunco (2019) y Huaroma (2016) corroboran que la harina de habas, funciona eficientemente como ayudante de coagulación en el tratamiento del agua; por lo tanto las propiedades coagulativas de la harina de haba o de los coagulantes naturales son principalmente las proteínas catiónicas (Crepon et al., 2010) A partir de lo mencionado, en contraste con la semilla de moringa oleífera (30.78 g/100 g), esta cuenta con la presencia de los aminoácidos aniónicos, Glutámico y Aspártico, y de los aminoácidos catiónicos, Histidina, Arginina y Lisina, por lo que la proteína activa de las semillas de Moringa oleífera es un polielectrolito que tiene en su superficie aminoácidos polares con carga positiva y negativa, los cuales están disponibles para interactuar con las partículas coloidales responsables de la turbidez de la sanguaza, y de esta forma contribuir al proceso de coagulación-floculación de las mismas.

Los minerales en los alimentos son generalmente expresados en función de las cenizas, las semillas de moringa oleífera alcanzaron un contenido de cenizas de 3.80 % en su estado fresco, se asemeja al determinado por Castillo (2020) con un contenido de 4.42 %. El contenido de cenizas en otros alimentos en comparación a la semilla de moringa es superado, tal es el caso de la arveja seca (2.4/100 g), soya (5.9/100 g) y frijol (3.9/100 g) (Alvarez, 2017), harinas de quinua y trigo con 2.8 y 2.0 g/100 g respectivamente. (Ministerio de Salud, 2017).

De manera similar a otros alimentos la composición proximal de la semilla de moringa Oleífera tiene variaciones debido a la influencia de varios factores, algunos de ellos son: el lugar en la que se cultive la moringa (García, 2017) que tendrá relación con el clima y tipo de suelo.

4.2 Características principales del floculante sintético poliacrilamida

El floculante poliacrilamida CHEMIFLOX 600, de la marca HYDROTECH PERÚ en la presentación líquida de 1 L, del laboratorio de la empresa pesquera DON FERNANDO S.A.C., se emplea para el tratamiento de sanguaza y efluentes propios de la actividad productiva.

Las características principales del floculante poliacrilamida HYDROTECH, se presentan en la ficha técnica que se adjunta en el Anexo 5.

Estas características proporcionadas por la ficha técnica del producto no demuestran de qué forma sus componentes activos actúan para dar paso al proceso de floculación, el cual implica la captación mecánica de partículas neutralizadas generando un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta manera, se logra un aumento formidable del tamaño y la densidad de las

partículas coaguladas, incrementando así la velocidad de sedimentación de los flóculos (Cabrera et al., 2019).

4.3 Análisis de la efectividad del tratamiento usando coagulante natural a base de semillas de moringa y floculante sintético poliacrilamida en el contenido de SST, DBO y Turbidez

En la tabla 10 podemos ver el diseño experimental propuesto con los resultados en cada corrida esta información la utilizaremos para los análisis estadísticos con el software.

Tabla 10 Resultados del diseño experimental Box-Behnken

N° CORRI DA	BLO QUE	PARAMETROS FISICOQUIMICOS			MUESTRAS SIN TRATAMIENTO			MUESTRAS CON TRATAMIENTO		
		Coagulan te	Floculan te	pH	SST	DBO	TURBI	SST	DBO	TURBI
		%	%		mg/ L	mg O2/L	DEZ NTU	mg/ L	mg O2/L	DEZ NTU
1	1	4	0.3	8.5	228	144	272	127	74.8	94
2	1	2	0.1	8.5	207	136	260	156	91.2	180.2
3	1	6	0.1	8.5	206	130	250	129	80.4	167
4	1	2	0.5	8.5	198	128	233	136	76.8	149
5	1	6	0.5	8.5	212	137.6	280	149	74.4	128
6	1	2	0.3	8	208	135.2	257	144	88.4	164
7	1	6	0.3	8	210	129.6	265	146	78	150
8	1	4	0.3	8.5	219	142	272	115	75.6	79.3
9	1	2	0.3	9	200	134	267	142	88	127
10	1	6	0.3	9	205	130.8	266	125	77.6	148
11	1	4	0.1	8	220	134.4	270	124	82	192
12	1	4	0.5	8	215	142	266	124	75.5	102
13	1	4	0.1	9	216	136	270	126	82.8	190
14	1	4	0.5	9	218	140	271	118	70	94
15	1	4	0.3	8.5	218	139.2	274	117	68	84

En promedio, las características fisicoquímicas iniciales fueron de 210 mg/L para SST, 136 mgO₂/L para DBO y de 265 NTU para turbidez. Las ligeras variaciones en la caracterización inicial de las muestras sin tratamiento obedecen a los intervalos de tiempo que tomaron realizar los análisis fisicoquímicos para cada corrida.

4.3.1 Sólidos suspendidos totales – SST, en el agua de sanguaza sin tratamiento y con tratamiento

El análisis de sólidos suspendidos totales se realizó a las muestras de sanguaza, antes de la aplicación de los 15 tratamientos (muestras refrigeradas obtenidas de las pozas de agua de bombeo) y así también en el sobrenadante (sanguaza tratada con los 15 tratamientos), sumado a ello la interacción de la variación de pH de 8, 8.5 y 9, observándose los resultados de sólidos suspendidos totales, representados mediante la figura 9.

El rendimiento del efecto del floculante (poliacrilamida - POLYCHEM), en conjunto con el coagulante natural obtenido de la semilla de moringa (polvo de moringa), más la interacción de la variación de pH, es efectivo en un 36.8% promedio de remoción de sólidos suspendidos totales en sanguaza tratada, donde es observable que a pH 8, los tratamientos con mayor efectividad son T11 con 4% de moringa y 0.1% de poliacrilamida y T12 con 4% de moringa y 0.5% de poliacrilamida; a pH 8.5, los tratamientos con mayor efectividad son T8 con 4% de moringa y 0.3% de poliacrilamida y T15 con 4% de moringa y 0.3% de poliacrilamida con un promedio de remoción de sólidos suspendidos totales de 37.31% ; a pH 9, los tratamientos con mayor efectividad son T13 con 4% de moringa y 0.1% de poliacrilamida y T14 con 4% de moringa y 0.5% de poliacrilamida, obteniéndose una efectividad de 38.89% promedio en remoción de sólidos suspendidos totales en sanguaza tratada.

Figura 9 Efectividad de la moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH en la remoción de SST

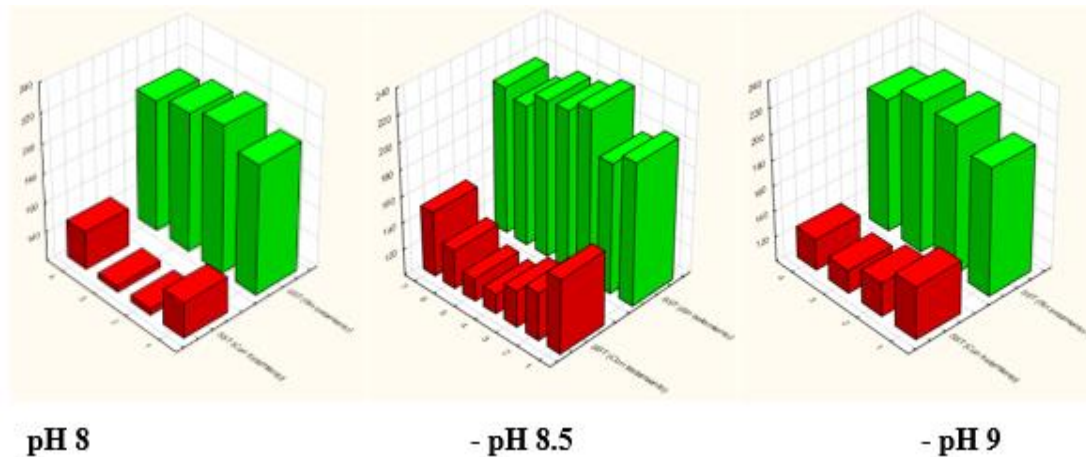
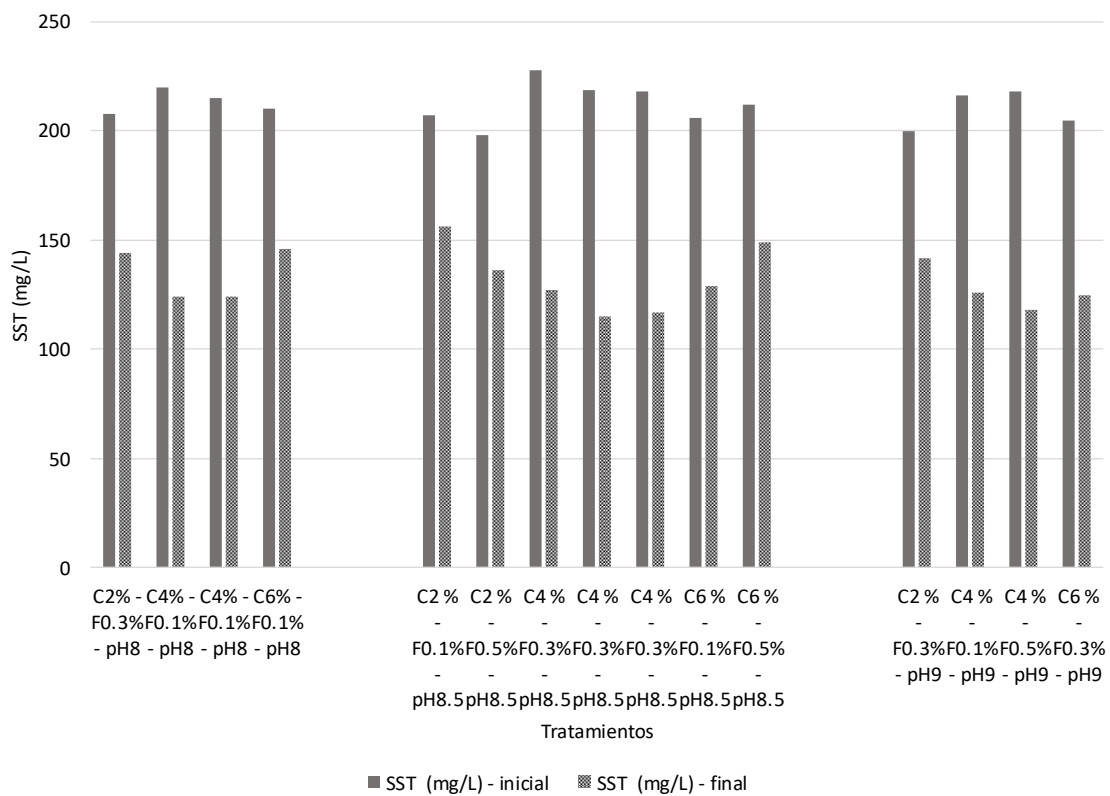


Figura 10 Remoción de SST como efecto de la aplicación de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH



Se observa en la figura 10 una diferencia promedio de 80.1 mg/l de SST con una efectividad promedio de 37.60 %, entre la sanguaza sin tratamiento en comparación con la sanguaza tratada bajo las diferentes concentraciones de dosificación de los agentes coagulante y floculante, en contraste con la efectividad del 90 - 95 % de SST como resultado de la aplicación estándar de los tratamientos en la industria, empleando sulfato férrico y poliacrilamida (Empresa Don Fernando SAC) con base a 1000 ml de muestra.

Se puede observar que la efectividad de la moringa como coagulante alternativo en el tratamiento industrial de sanguaza, presentan un promedio de remoción de sólidos suspendidos totales de 134.5 mg/L a pH de 8, 132.7 mg/L a pH de 8.5 y 127.8 mg/L a pH de 9, los cuales están debajo de los límites máximos permisibles para efluentes de establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto, exigidos por la normativa peruana mediante Decreto Supremo N°010-2008-PRODUCE, el cual indica un límite máximo de 700 mg/L para sólidos suspendidos totales.

4.3.2 Demanda bioquímica de oxígeno – DBO₅, en el agua de sanguaza sin tratamiento y con tratamiento

El análisis de demanda bioquímica de oxígeno se realizó al agua de sanguaza sin ningún tratamiento, así como también al agua de sanguaza tratada según la matriz del diseño experimental, por lo cual mediante las figuras 11 y 12, se puede observar el rendimiento del efecto del floculante sintético poliacrilamida, en conjunto con el coagulante natural a base de polvo de semilla de moringa y la interacción de la variación de pH.

El rendimiento del efecto del floculante (poliacrilamida - POLYCHEM), en conjunto con el coagulante natural obtenido de la semilla de moringa (polvo de moringa), más la interacción de la variación de pH. A, es efectivo en un 40.06% promedio de DBO_5 en sanguaza tratada, donde es observable que a pH 8, el tratamiento con mayor efectividad es T12 con 4% de moringa y 0.5% de poliacrilamida (tratamiento 3 en la figura 9); a pH 8.5, los tratamientos con mayor efectividad son T1 con 4% de moringa y 0.3% de poliacrilamida (tratamiento 3 en la figura 9) y T15 con 4% de moringa y 0.3% de poliacrilamida (tratamiento 5 en la figura 9) con un promedio de DBO_5 de 43.28% ; a pH 9, el tratamiento con mayor efectividad es T14 con 4% de moringa y 0.5% de poliacrilamida (tratamiento 3 en grafica), obteniéndose una efectividad de 41.03% promedio en DBO_5 en sanguaza tratada.

Figura 11 Efectividad de la moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH en la remoción de DBO_5

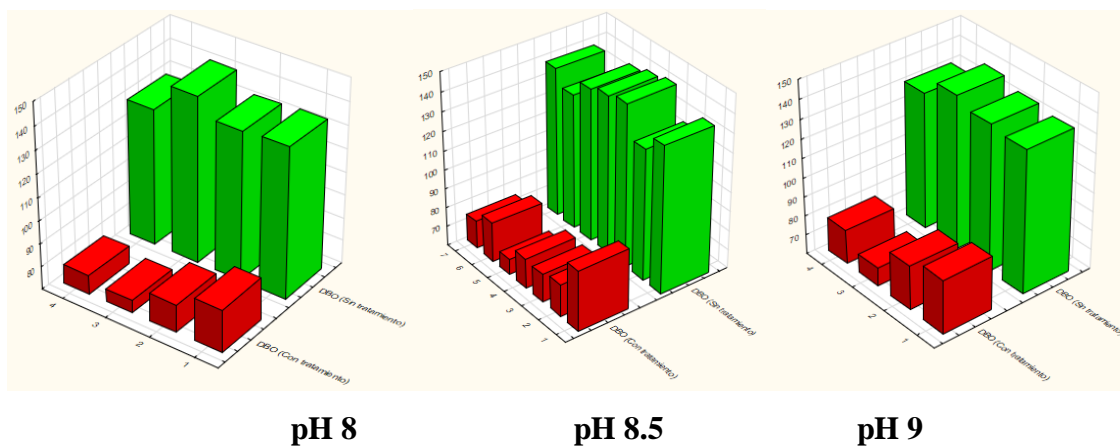
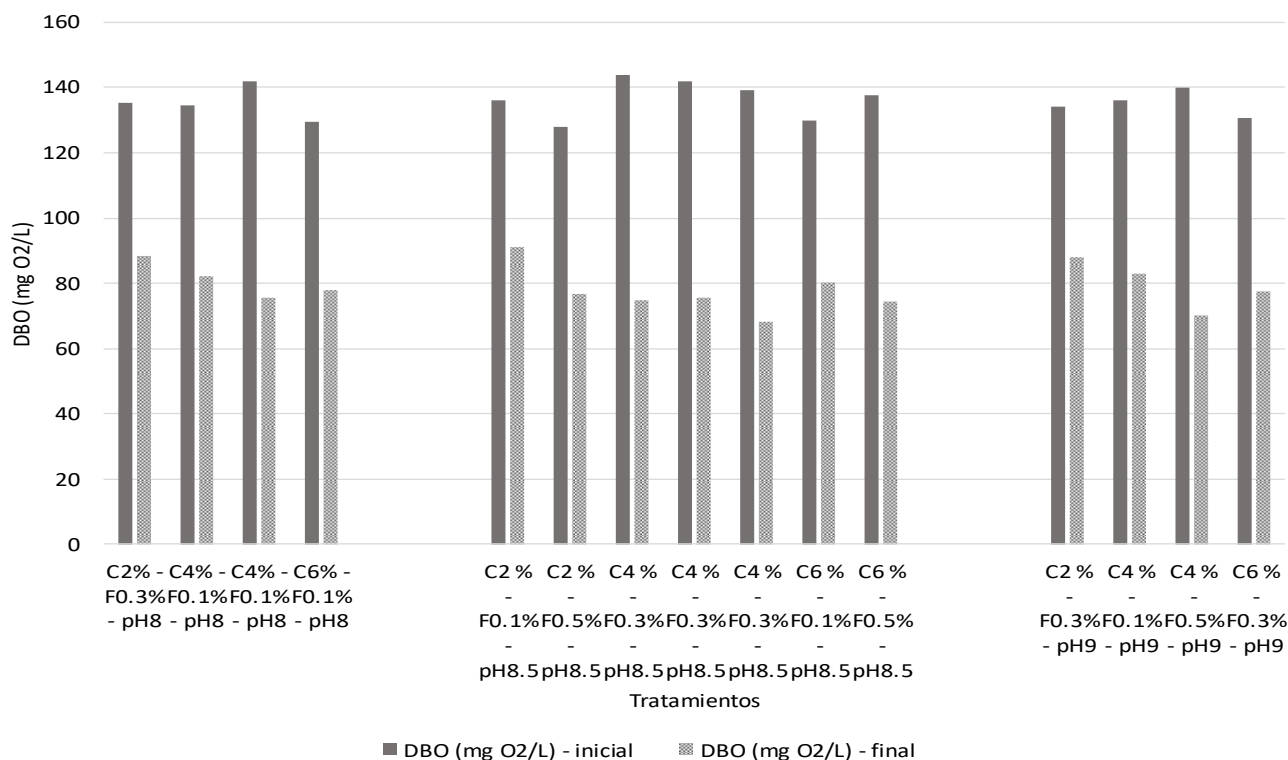


Figura 12 Remoción de DBO_5 como efecto de la aplicación de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH



Se observa de la figura 12 una diferencia promedio de 57.02 mg O₂/L con una efectividad promedio de 41.82%, entre la sanguaza sin tratamiento en comparación con la sanguaza tratada bajo las diferentes concentraciones de dosificación de los agentes coagulante y floculante, en contraste con la efectividad reportada por Campos y Collachagua (2019), quienes evaluaron la eficiencia de la moringa oleífera como agente coagulante natural para la remoción de contaminantes, en la cual se obtuvo un porcentaje de remoción de DBO_5 del 65%, el cual se encuentra cercano a los tratamientos 14 y 15 con 50-51%. Cabe mencionar que estos valores varían dependiendo de la carga de materia

orgánica del efluente, lo que ocasiona un incremento de la temperatura, que provoca el aumento y dispersión de los microorganismos y eso demanda mayor consumo de oxígeno. Como se observa, los valores reportados son cercanos a los de este estudio.

Mejía et al., (2020), evaluó la moringa oleífera en el tratamiento de agua con alta turbidez y carga orgánica, con una dosis de 0.5 g/L y 0.75 g/L, obteniendo entre 33.75 y 35.3% en remoción de DBO_5 , estos valores son similares a los obtenidos en el trabajo en un rango de 32.94 a 51.15 %.

Los tratamientos presentan un promedio de remoción de demanda bioquímica de oxígeno de $80.98 \text{ mgO}_2/\text{L}$, a pH de 8, $77.31 \text{ mgO}_2/\text{L}$ a pH de 8.5 y $79.6 \text{ mgO}_2/\text{L}$ a pH de 9, los cuales están debajo de los límites máximos permisibles para efluentes de establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto, exigidos por la normativa peruana mediante Decreto Supremo N°010-2008-PRODUCE, el cual indica un límite máximo de $\leq 60 \text{ mgO}_2/\text{L}$ para DBO_5

4.3.3 Turbidez en el agua de sanguaza sin tratamiento y con tratamiento.

El análisis de turbidez se realizó al agua de sanguaza sin ningún tratamiento, así como en el agua de sanguaza tratada según la matriz del diseño experimental, por lo cual mediante las figuras 13 y 14, se puede observar el rendimiento del efecto del floculante sintético poliácridamida, en conjunto con el coagulante natural a base de moringa y la interacción de la variación de pH.

El rendimiento del efecto del floculante (poliacrilamida - POLYCHEM), en conjunto con el coagulante natural obtenido de la semilla de moringa (polvo de moringa), más la interacción de la variación de pH es efectivo en un 42.53% promedio en remoción de turbidez en sanguaza tratada, donde es observable que a pH 8, el tratamiento con mayor efectividad es T12 con 4% de moringa y 0.5% de poliacrilamida; a pH 8.5, los tratamientos con mayor efectividad son T8 con 4% de moringa y 0.3% de poliacrilamida y T15 con 4% de moringa y 0.3% de poliacrilamida con un promedio en turbidez de 51.41% ; a pH 9, el tratamiento con mayor efectividad es T14 con 4% de moringa y 0.5% de poliacrilamida, obteniéndose una efectividad de 47.93% promedio en turbidez en sanguaza tratada.

Figura 13 Efectividad de la moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH en la remoción de Turbidez

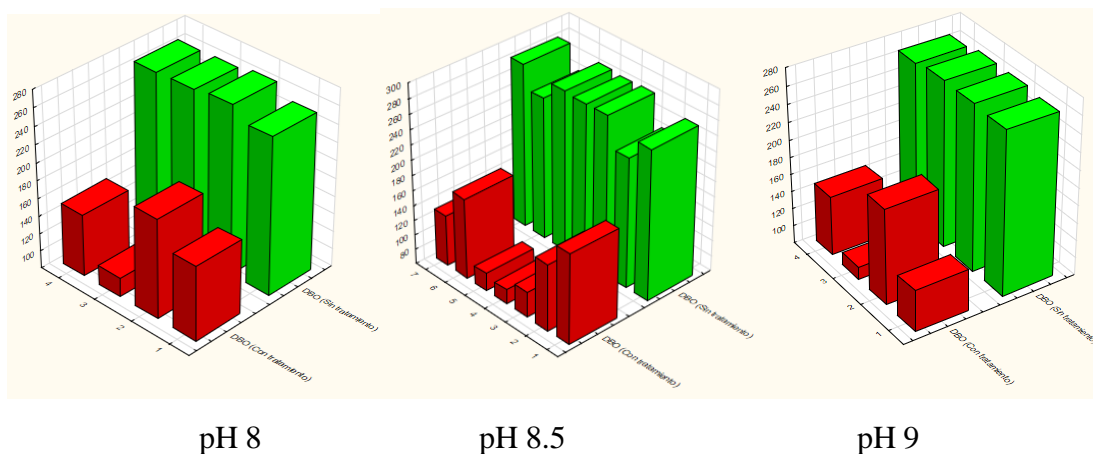
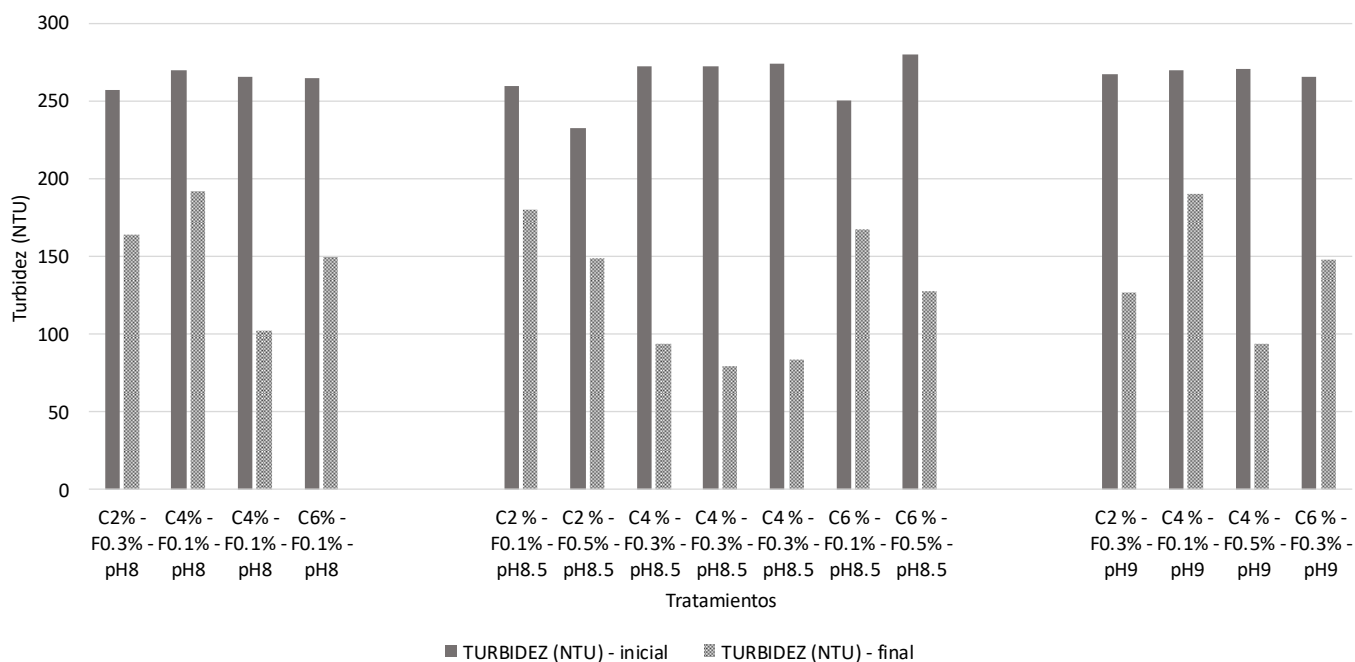


Figura 14 Remoción de Turbidez (NTU) como efecto de la aplicación de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida como floculante sintético y la interacción de la variación de pH.



Se observa que hay una diferencia promedio de 128 NTU con una efectividad promedio de 48.11%, entre la sanguaza sin tratamiento en comparación con la sanguaza tratada bajo las diferentes concentraciones de dosificación de los agentes coagulante y floculante.

Mejía et al., (2020), evaluó la moringa oleífera en el tratamiento de agua con alta turbidez y carga orgánica a diferentes dosis y aplicado en solución con agua destilada, los valores de remoción de turbidez obtenidos están entre 31 y 76.4%, en comparación con los valores encontrados en la investigación son similares, los cuales están entre 30.69 y 70.85%. Por otro lado, Arias-Hoyos et al., (2017), realizó una investigación utilizando la moringa oleífera como sustancia coagulante en el tratamiento de aguas

residuales, teniendo como resultado una de turbidez inicial de 1144 NTU donde se aplicó una dosis a una concentración de 5% obteniendo una remoción del 73%, datos cercanos a los encontrados en la investigación.

Los tratamientos presentan un promedio de remoción de turbidez de 152 *NTU* a pH de 8, 125.93 *NTU* a pH de 8.5 y 139.75 *NTU* a pH de 9.

4.4 Optimización de los parámetros de concentraciones de coagulante natural, floculante sintético poliacrilamida y de las condiciones del medio (pH)

Para esta investigación se aplicó el diseño de superficie de respuesta, del tipo Box-Behnken, que consta de 3 niveles incluyendo un subconjunto de corridas de una factorial completa a tres niveles, en este caso contamos con 3 factores (% coagulante natural, % floculante sintético y pH del medio (agua de sanguaza), cada uno con 3 niveles como son: coagulante natural: 2, 4 y 6%; floculante sintético: 0.1, 0.3 y 0.5% y pH del medio: 8, 8.5 y 9), del cual se ha obtenido 15 corridas experimentales, incluidas 3 puntos centrales.

En la tabla 11 encontramos los resultados de las corridas experimentales, que se realizaron en un test de jarras a manera de minireactor de 1000 ml de capacidad, trabajado en un sistema por lotes, para luego determinar los resultados de manera directa (como sólidos suspendidos totales – SST (mg/L) y turbidez (NTU) y de manera indirecta como la demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O₂/L), la cual se determinó a partir del factor de relación entre DBO₅ y DQO por el grado biodegradabilidad de aguas residuales; a través de los métodos: Método APHA 8024, US - EPA 180.1 y US – EPA 410.4 respectivamente. Estos resultados son procesados por el software Statgraphic

Centurion XV. versión 15.2.06, individual y conjuntamente en función de la deseabilidad.

Tabla 11 Resultados experimentales de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O₂/L) y turbidez (NTU), en agua de sanguaza tratada con coagulante natural a base de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y acondicionamiento de pH

N° CORRIDA	Coagulante (%)	Floculante (%)	pH	SST (mg/L)	DBO (mg O ₂ /L)	TURBIDEZ (NTU)
1	4	0.3	8.5	127	74.8	94
2	2	0.1	8.5	156	91.2	180.2
3	6	0.1	8.5	129	80.4	167
4	2	0.5	8.5	136	76.8	149
5	6	0.5	8.5	149	74.4	128
6	2	0.3	8	144	88.4	164
7	6	0.3	8	146	78	150
8	4	0.3	8.5	115	75.6	79.3
9	2	0.3	9	142	88	127
10	6	0.3	9	125	77.6	148
11	4	0.1	8	124	82	192
12	4	0.5	8	124	75.5	102
13	4	0.1	9	126	82.8	190
14	4	0.5	9	118	70	94
15	4	0.3	8.5	117	68	84

4.5 Análisis de Sólidos Suspendidos Totales – SST (mg/L)

En la siguiente sección se evaluó independientemente como variable de respuesta la concentración de coagulante con respecto a la concentración de floculante y pH de los datos obtenidos en las 15 corridas experimentales.

Tabla 12 Análisis de varianza para sólidos suspendidos totales – SST (mg/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.

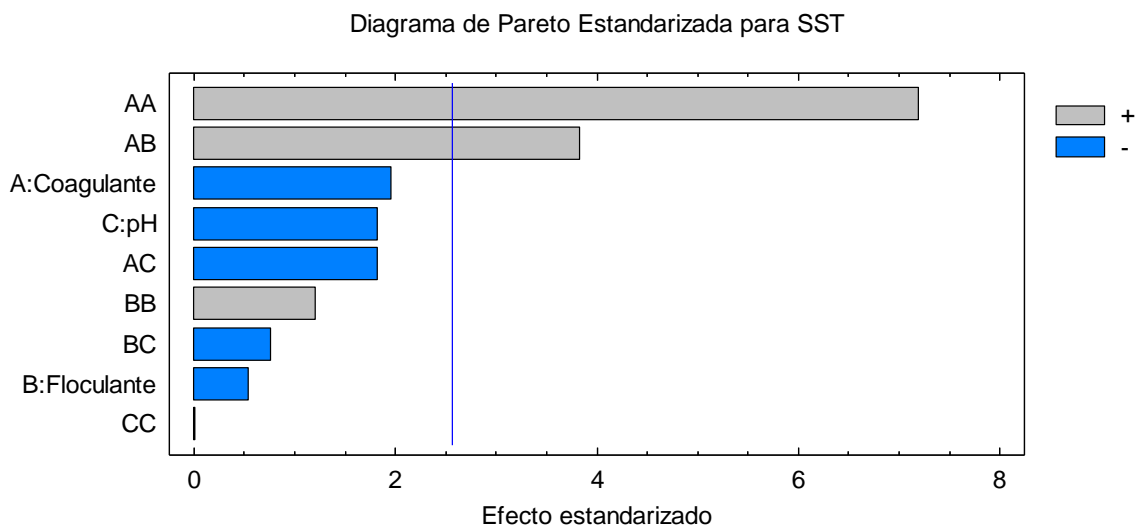
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Coagulante	105.125	1	105.125	3.87	0.1064
B: Floculante	8.0	1	8.0	0.29	0.6108
C: pH	91.125	1	91.125	3.35	0.1266
AA	1410.01	1	1410.01	51.87	0.0008
AB	400.0	1	400.0	14.71	0.0122
AC	90.25	1	90.25	3.32	0.1281
BB	40.0064	1	40.0064	1.47	0.2793
BC	16.0	1	16.0	0.59	0.4776
CC	0.00641026	1	0.00641026	0.00	0.9883
Error total	135.917	5	27.1833		
Total (corr.)	2277.73	14			

En la Tabla 12 se observa el análisis de varianza (ANOVA) donde se particiona la variabilidad de la variable respuesta (sólidos suspendidos totales) en piezas separadas para cada uno de los efectos. De esta manera prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio con el estimado del error experimental.

En este caso 2 efectos (grupo AA y AB) tienen un valor-P menor a 0.05, por tanto, existe efectos significativos. para un nivel de confianza del 95%.

La figura 14 muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados mediante el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, donde las variables de estudio y la interacción de ambas tienen efectos estadísticamente significativos al pasar la línea de referencia. Además, se observa los grupos significativos, en este caso el grupo AA y el grupo AB.

Figura 15 Diagrama de Pareto de efectos estimados e interacciones para sólidos suspendidos totales – SST (mg/L) (coagulante natural a base de Moringa oleífera) y floculación (floculante sintético poliácridamida) de sanguaza, con variación de pH



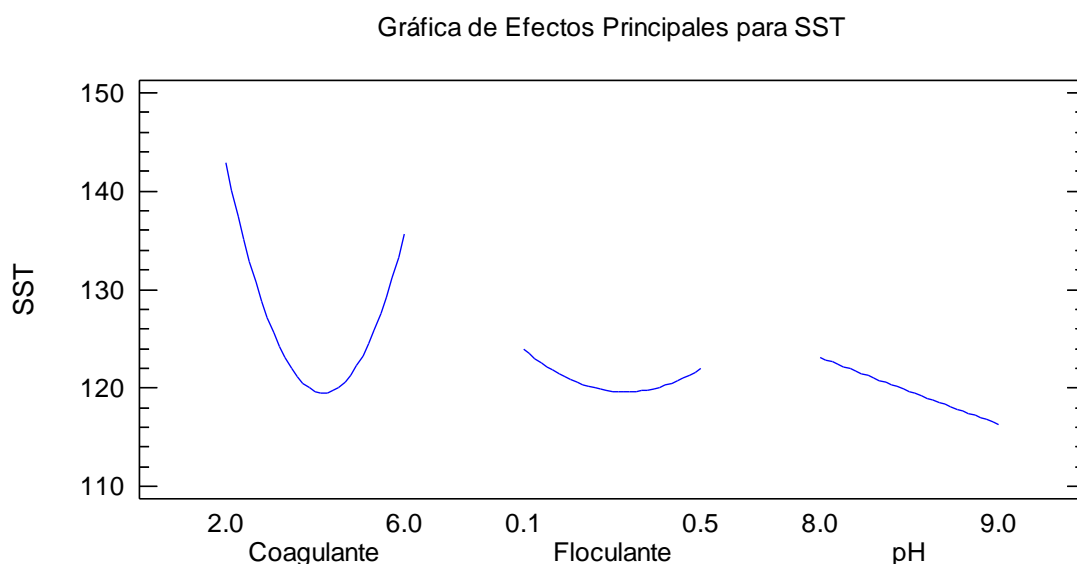
Coefficientes de regresión para SST, en la ecuación del modelo de regresión que se ha ajustado a los datos.

$$\begin{aligned} \text{SST} = & 100.906 - 8.02083 * \text{Coagulante} + 15.625 * \text{Floculante} + 15.4167 * \text{pH} + \\ & 4.88542 * \text{Coagulante}^2 + 25.0 * \text{Coagulante} * \text{Floculante} - 4.75 * \text{Coagulante} * \text{pH} \\ & + 82.2917 * \text{Floculante}^2 - 20.0 * \text{Floculante} * \text{pH} + 0.166667 * \text{pH}^2 \end{aligned}$$

En la figura 15 se visualiza los efectos principales que muestra las diferencias entre las medias de nivel para los factores concentración de coagulante, concentración de floculante y pH. A medida que hay un incremento en la concentración de coagulante aumenta la remoción de sólidos suspendidos totales, no obstante, en concentraciones altas del agente coagulante, se observa un descenso de la acción removedora, debido al exceso de los agentes preparados en la solución estándar.

La concentración de floculante tiene un comportamiento similar, pero con un menor pronunciamiento.

Figura 16 Efectos principales para sólidos suspendidos totales – SST (mg/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH



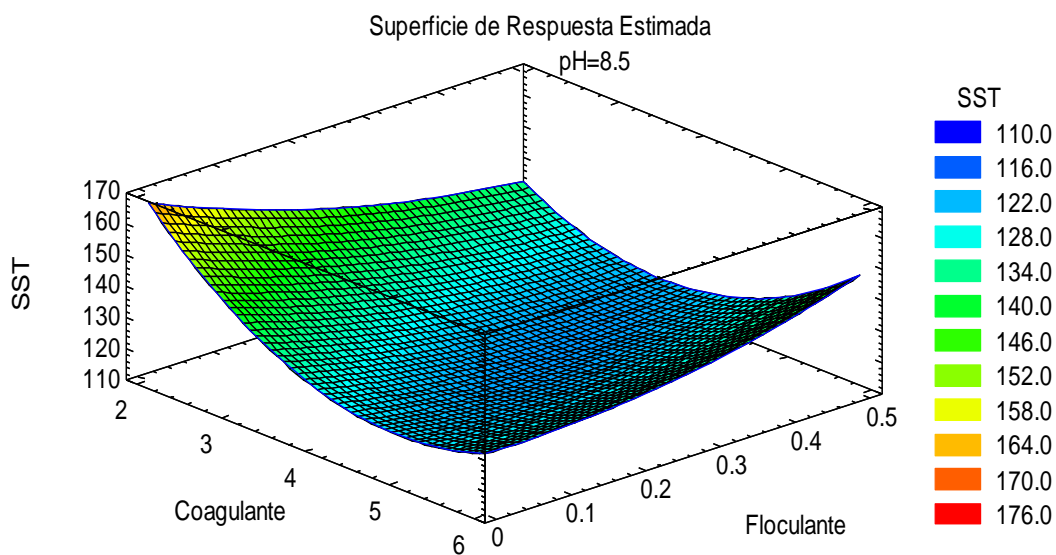
En la Tabla 13 se muestra la optimización de respuesta de SST la cual minimiza la cantidad de sólidos suspendidos totales. (mg/L), en el agua de sanguaza tratada, a partir de los datos adquiridos en los ensayos, obteniéndose un valor óptimo de 115.345 mg/L.

Tabla 13 Combinación de los niveles de los factores: coagulante natural a base de moringa oleífera y floculante sintético poliacrilamida con variación de pH, la cual minimiza SST (mg/L) sobre la región indicada en la figura 15.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración agente Coagulante	2.0	6.0	4.31995
Concentración agente Floculante	0.1	0.5	0.342543
pH	8.0	9.0	9.0

En la figura 17 de superficie de respuesta estimada visualizamos las respuestas que se encuentran ajustadas al modelo de regresión propuestas para la remoción de sólidos suspendidos totales entre las interacciones de las variables independientes (concentración de coagulantes natural de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y pH), encontrando así una malla que obtiene su punto más bajo de contenido de sólidos suspendidos totales (región azul), empleando como límite concentraciones de agente coagulante de 4.31% y agente floculante de 0.34%.

Figura 17 Superficie de respuesta para la minimización de sólidos suspendidos totales – SST (mg/L), con acción del coagulante natural de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y pH.



4.6 Análisis de demanda bioquímica de oxígeno – DBO_5 (mg O_2/L)

Tabla 14 Análisis de varianza para demanda bioquímica de oxígeno – DBO_5 (mg O_2/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético-orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Coagulante	144.5	1	144.5	16.36	0.0099
B: Floculante	197.011	1	197.011	22.31	0.0052
C: pH	3.78125	1	3.78125	0.43	0.5418
AA	163.898	1	163.898	18.56	0.0077
AB	17.64	1	17.64	2.00	0.2167
AC	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
BB	5.65442	1	5.65442	0.64	0.4599
BC	9.9225	1	9.9225	1.12	0.3376
CC	46.2052	1	46.2052	5.23	0.0709
Error total	44.1525	5	8.8305		
Total (corr.)	615.86	14			

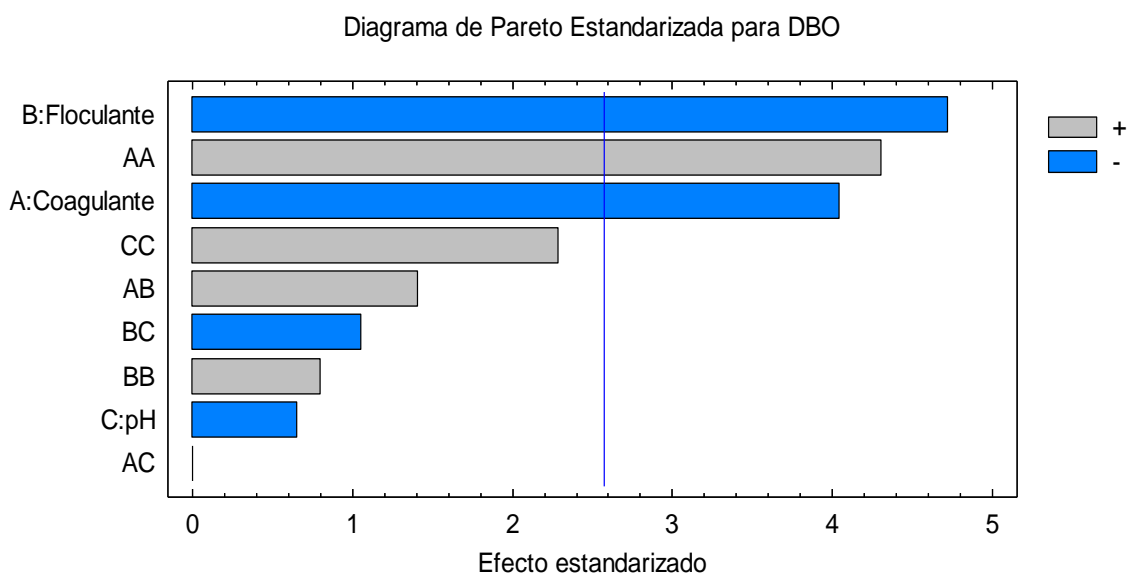
En la Tabla 14 se observa el análisis de varianza (ANOVA) donde se particiona la variabilidad de la variable respuesta (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en piezas separadas para cada uno de los efectos. De esta manera prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio con el estimado del error experimental.

En este caso 3 efectos (Concentración del agente coagulante, Concentración del agente floculante y grupo AA) tienen un valor-P menor a 0.05, por tanto, existe efectos significativos. para un nivel de confianza al 95%.

La figura 18, muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados mediante el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, donde las variables de estudio y la interacción de ambas tienen efectos estadísticamente significativos al pasar la línea de referencia. Además, se observa los efectos

significativos, en este caso concentración del agente coagulante, concentración de agente floculante y el grupo AA.

Figura 18 Diagrama de Pareto de efectos estimados e interacciones para demanda bioquímica de oxígeno – DBO₅ (mg O₂/L) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza



Coefficientes de regresión para DBO₅, en la ecuación del modelo de regresión que se ha ajustado a los datos.

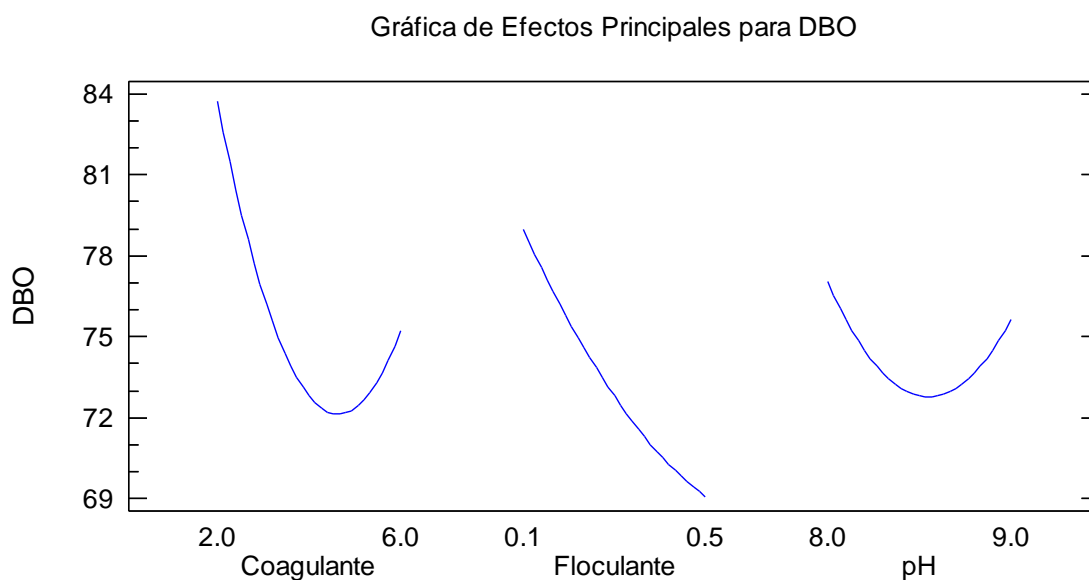
$$\text{DBO}_5 = 1118.34 - 17.025 \cdot \text{Coagulante} + 69.5 \cdot \text{Floculante} - 237.2 \cdot \text{pH} + 1.66563 \cdot \text{Coagulante}^2 + 5.25 \cdot \text{Coagulante} \cdot \text{Floculante} + 0.0 \cdot \text{Coagulante} \cdot \text{pH} + 30.9375 \cdot \text{Floculante}^2 - 15.75 \cdot \text{Floculante} \cdot \text{pH} + 14.15 \cdot \text{pH}^2$$

En la figura 19 se visualiza los efectos principales que muestra las diferencias entre las medias de nivel para los factores concentración de coagulante, concentración de floculante y pH. A medida que hay un incremento en la

concentración de coagulante y pH disminuye la cantidad de DBO_5 , no obstante, en concentraciones altas, se observa un aumento en su nivel.

Por otro lado, la gráfica de la concentración de floculante a medida que aumenta tiene un comportamiento descendente, donde se observa que la cantidad de DBO_5 disminuye en su nivel.

Figura 19 Grafica de efectos principales para demanda bioquímica de oxígeno – DBO_5 ($\text{mg O}_2/\text{L}$) en la coagulación (coagulante natural a base de Moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH



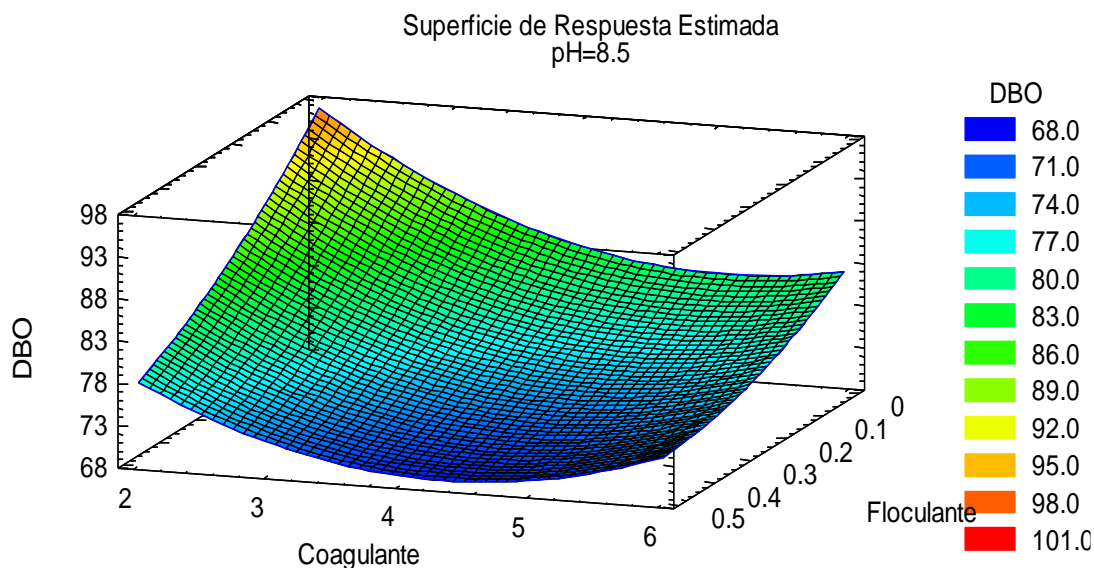
En la Tabla 13 se muestra la optimización de respuesta de DBO_5 ($\text{mg O}_2/\text{L}$) la cual minimiza su cantidad ($\text{mg O}_2/\text{L}$), en el agua de sanguaza tratada, a partir de los datos adquiridos en los ensayos, obteniéndose un valor óptimo de 68.5398 $\text{mg O}_2/\text{L}$.

Tabla 15 Combinación de los niveles de los factores: coagulante natural a base de moringa oleífera y floculante sintético-orgánico Poliacrilamida con variación de pH, la cual minimiza DBO (mg O₂/L) sobre la región indicada en la figura 19

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración agente Coagulante	2.0	6.0	4.32317
Concentración agente Floculante	0.1	0.5	0.5
pH	8.0	9.0	8.65984

En la figura 20 de superficie de respuesta estimada visualizamos las respuestas que se encuentran ajustadas al modelo de regresión propuestas para la remoción de sólidos suspendidos totales entre las interacciones de las variables independientes (concentración de coagulantes natural de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y pH), encontrando así una malla que obtiene su punto más bajo de contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (región azul), empleando como límite concentraciones de agente coagulante de 4.32% y agente floculante de 0.5%.

Figura 20 Superficie de respuesta para la minimización de demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O₂/L), con acción del coagulante natural de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y pH.



4.7 Análisis de turbidez (NTU)

En la siguiente sección se evaluó independientemente como variable de respuesta la concentración de coagulante con respecto a la concentración de floculante y pH de los datos obtenidos en las 15 corridas experimentales.

Tabla 16 Análisis de varianza para turbidez (NTU) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.

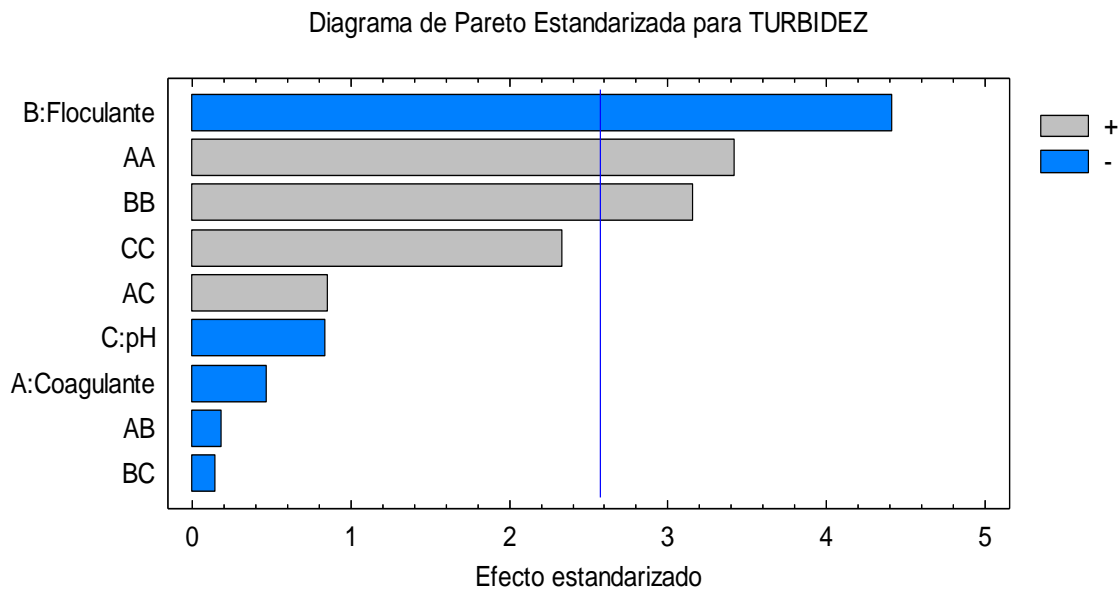
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Coagulante	92.48	1	92.48	0.22	0.6591
B: Floculante	8204.81	1	8204.81	19.48	0.0069
C: pH	300.125	1	300.125	0.71	0.4371
AA	4923.57	1	4923.57	11.69	0.0189
AB	15.21	1	15.21	0.04	0.8568
AC	306.25	1	306.25	0.73	0.4328
BB	4209.92	1	4209.92	9.99	0.0251
BC	9.0	1	9.0	0.02	0.8895
CC	2301.54	1	2301.54	5.46	0.0666
Error total	2106.24	5	421.247		

En la Tabla 16 se observa el análisis de varianza (ANOVA) donde se particiona la variabilidad de la variable respuesta (turbidez) en piezas separadas para cada uno de los efectos. De esta manera prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio con el estimado del error experimental.

En este caso 3 efectos (concentración agente floculante, grupo AA y BB) tienen un valor-P menor a 0.05, por tanto, existe efectos significativos. para un nivel de confianza del 95%.

En la figura 21, se muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados mediante el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, donde las variables de estudio y la interacción de ambas tienen efectos estadísticamente significativos al pasar la línea de referencia. Además, se observa los grupos significativos, en este caso concentración agente floculante, grupo AA y AB.

Figura 21 Diagrama de Pareto de efectos estimados e interacciones para turbidez (NTU) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético Poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH.



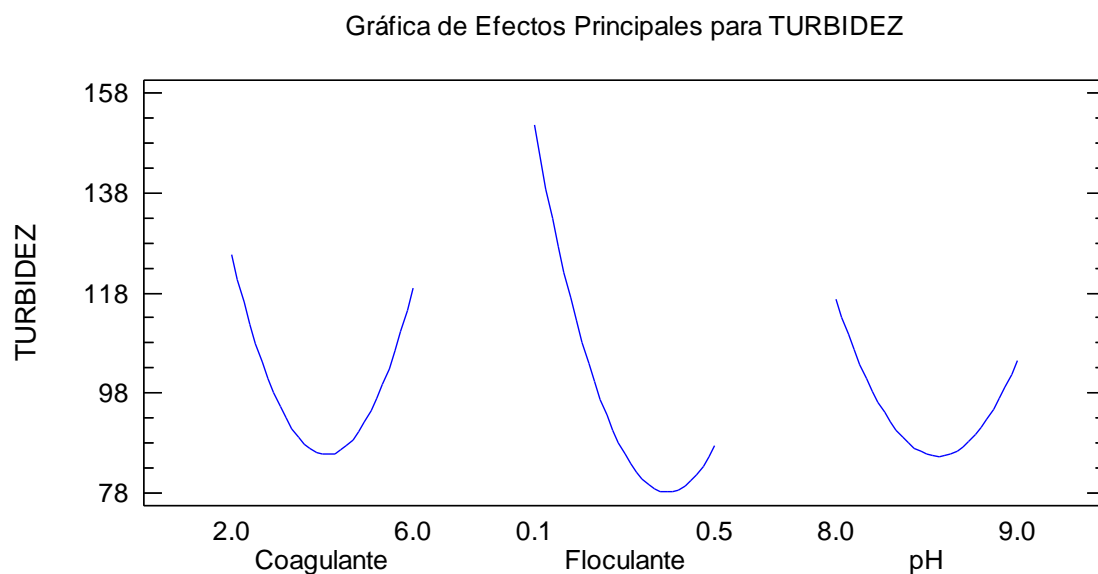
Coefficientes de regresión para turbidez (NTU), en la ecuación del modelo de regresión que se ha ajustado a los datos.

$$\begin{aligned} \text{TURBIDEZ} = & 7935.54 - 147.646 * \text{Coagulante} - 519.625 * \text{Floculante} - \\ & 1740.48 * \text{pH} + 9.12917 * \text{Coagulante}^2 - 4.875 * \text{Coagulante} * \text{Floculante} + \\ & 8.75 * \text{Coagulante} * \text{pH} + 844.167 * \text{Floculante}^2 - 15.0 * \text{Floculante} * \text{pH} + \\ & 99.8667 * \text{pH}^2 \end{aligned}$$

En la figura 22 se visualiza los efectos principales que muestra las diferencias entre las medias de nivel para los factores concentración de coagulante, concentración de floculante y pH. A medida que hay un incremento en la concentración de coagulante disminuye la turbidez, no obstante, en concentraciones altas, se observa un aumento en su nivel.

De la misma forma, la concentración de floculante y pH tienen un comportamiento similar, pero con un menor pronunciamiento.

Figura 22 Efectos principales para turbidez (NTU) en la coagulación (coagulante natural a base de moringa oleífera) y floculación (floculante sintético orgánico poliacrilamida) de agua de sanguaza, con variación de pH



En la Tabla 17 se muestra la optimización de respuesta de Turbidez *NTU* la cual minimiza su cantidad (*NTU*), en el agua de sanguaza tratada, a partir de los datos adquiridos en los ensayos, obteniéndose un valor óptimo de 77.6365 *NTU*.

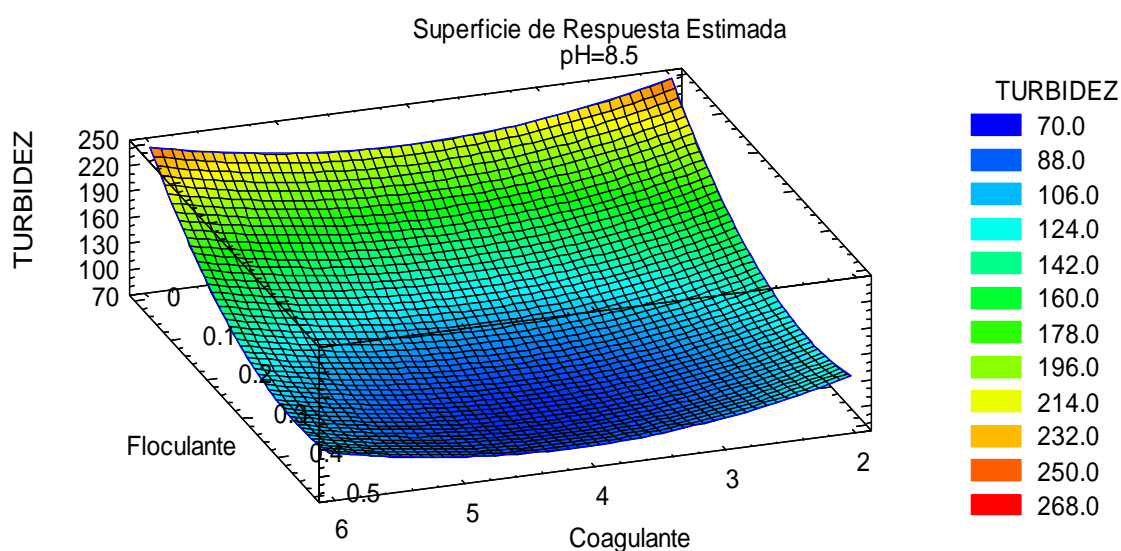
Tabla 17 Valores de los niveles de los factores: coagulante natural a base de moringa oleífera y floculante sintético Poliacrilamida, con variación de pH en el agua de sanguaza, con respecto a turbidez (NTU) sobre la región indicada

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración agente Coagulante	2.0	6.0	4.08767
Concentración agente Floculante	0.1	0.5	0.395665
pH	8.0	9.0	8.56464

En la figura 23 de superficie de respuesta estimada visualizamos las respuestas que se encuentran ajustadas al modelo de regresión, propuestas para la

minimización de Turbidez, entre las interacciones de las variables independientes (concentración de coagulantes natural de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y pH), encontrando así una malla que obtiene su punto más bajo de contenido de turbidez (región azul), empleando como límite concentraciones de agente coagulante de 4.08% y agente floculante de 0.39%.

Figura 23 Superficie de respuesta para la optimización de turbidez (NTU), con acción del coagulante natural de moringa oleífera, floculante sintético y pH



4.8 Análisis de múltiples respuestas de sólidos suspendidos totales – SST

(mg/L), demanda bioquímica de oxígeno – DBO (mg O₂/L) y turbidez (NTU) por aplicación coagulante natural a base de moringa oleífera, floculante sintético poliacrilamida y variación de pH en tratamiento de agua de sanguaza

En la Tabla 18 se muestra la deseabilidad de las variables dependientes y a partir de la deseabilidad observada el programa estadístico nos muestra el ensayo 3

como dosis óptima de los 15 ensayos, de acuerdo con la tendencia experimental que se observó.

Tabla 18 Deseabilidad de las variables de respuesta de SST (mg/L), DBO (mg O₂/L) y turbidez (NTU) del tratamiento de coagulación mediante coagulante natural a base de moringa oleífera y floculación mediante floculante sintético poliacrilamida y variación de pH en tratamiento de agua de sanguaza.

Fila	DBO (mgO ₂ /L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Deseabilidad Prevista	Deseabilidad Observada
1	75.5	124.0	102.0	0.679272	0.74995
2	88.4	144.0	164.0	0.22691	0.206269
3	70.0	118.0	94.0	0.873909	0.90306
4	74.8	127.0	94.0	0.871758	0.757572
5	91.2	156.0	180.2	0.0	0.0
6	76.8	136.0	149.0	0.545523	0.487029
7	75.6	115.0	79.3	0.871758	0.876084
8	78.0	146.0	150.0	0.408661	0.372571
9	74.4	149.0	128.0	0.460858	0.412538
10	77.6	125.0	148.0	0.541756	0.557253
11	68.0	117.0	84.0	0.871758	0.969602
12	82.0	124.0	192.0	0.309341	0.0
13	82.8	126.0	190.0	0.365068	0.167524
14	80.4	129.0	167.0	0.249714	0.408173
15	88.0	142.0	127.0	0.30574	0.300607

Las tablas 19 y 20 muestran la combinación de niveles de factores que maximiza la función de ‘deseabilidad’ en la región indicada en la figura 22. A partir de los valores óptimos de las variables independientes se obtuvieron valores óptimos para las variables respuestas alcanzando el valor óptimo de deseabilidad de 0.9402.

Tabla 19 Valores de los niveles de los factores con respecto a la deseabilidad

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Coagulante	2.0	6.0	4.10191
Floculante	0.1	0.5	0.428659
pH	8.0	9.0	8.67403

Tabla 20 Valores óptimos predichos de las variables de respuestas

Respuesta	Óptimo
DBO	69.826
SST	118.878
TURBIDEZ	79.7085

En las figuras 24 y 25 se muestran la tendencia de la deseabilidad, con un valor óptimo de 0.9402, a partir de los parámetros empleados (concentración de agente coagulante, concentración de agente floculante y pH).

Figura 24 Superficie de respuesta para la optimización de la deseabilidad de las variables de respuesta del tratamiento de coagulación y floculación del agua de sanguaza, mediante el empleo de moringa oleífera como coagulante natural, floculante sintético poliacrilamida y variación de pH del medio.

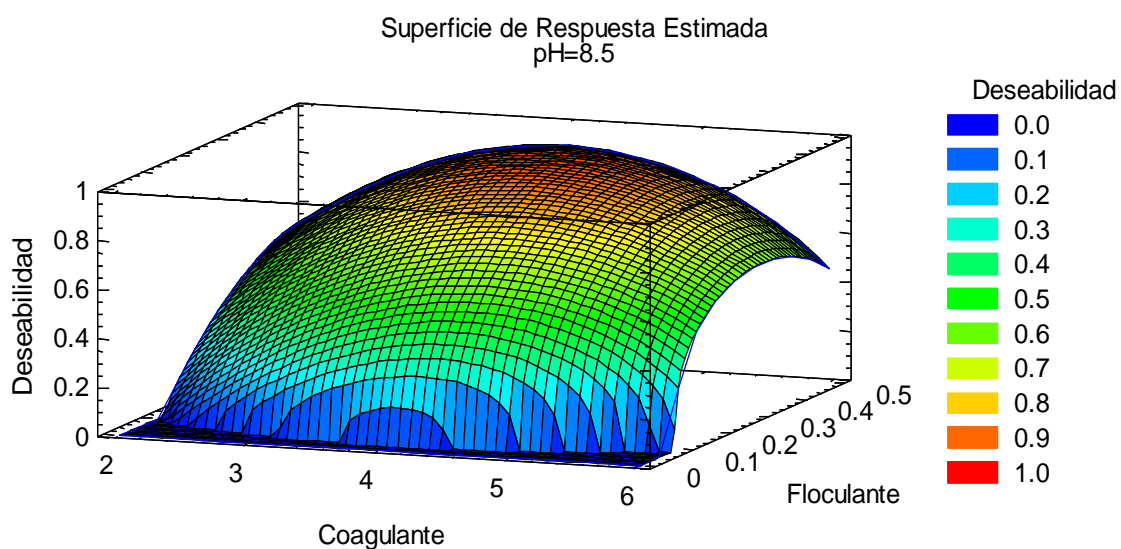
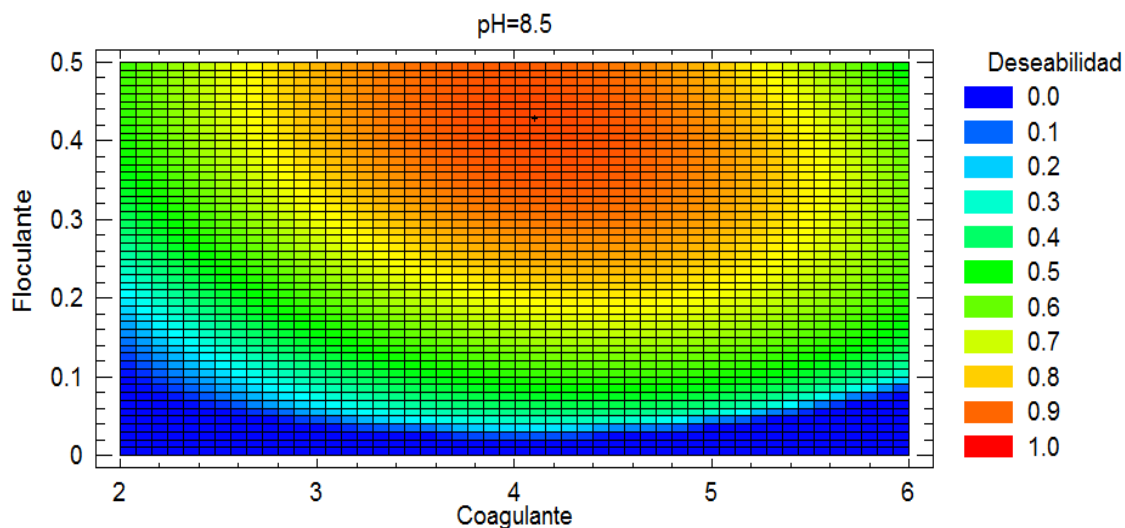


Figura 25 Contorno de la superficie de respuesta para la optimización de la deseabilidad de las variables de respuesta del tratamiento de coagulación y floculación del agua de sanguaza, mediante el empleo de moringa oleífera como coagulante, poliacrilamida floculante sintético orgánico y variación de pH del medio 8, 8.5 y 9



4.9 Validación de las variables óptimas

4.9.1 Obtención de la sanguaza

Se obtuvo sanguaza de la empresa pesquera “DON FERNANDO S.A.C.” y en la Tabla 21 se presentan sus características fisicoquímicas.

Tabla 21 Características fisicoquímicas de la sanguaza

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
pH	6.8
Sólidos suspendidos totales	215 mg/L
DBO_5	145 mg O_2 /L
Turbidez	265 NTU

4.9.2 Dosificación con los parámetros óptimos a la sanguaza para su tratamiento

Después de haber obtenido los valores óptimos de las variables independientes, se realizó su dosificación para el tratamiento de la sanguaza, dichos valores óptimos son los presentados en la tabla 22.

Tabla 22 Valores óptimos de las variables independientes

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
pH	8.7
Concentración de coagulante	4.10191 g/mL
Concentración de floculante	0.428659 g/mL

4.9.3 Variables de respuesta con la dosificación de los valores óptimos en el tratamiento de la sanguaza

Habiéndose validado en la sanguaza con los valores óptimos obtenidos a partir del análisis estadístico en el software Statgraphics centurión (XV) versión 15.2.06, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 23.

Tabla 23 Variables de respuesta de la sanguaza después de aplicar los valores óptimos para su tratamiento

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Sólidos suspendidos totales	109 mg/L
DBO_5	75 mg O_2 /L
Turbidez	70 NTU

4.10 Resultados del diseño experimental con análisis de desviación promedio absoluta para cada variable dependiente

Mediante el análisis de desviación promedio absoluta para cada variable dependiente se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la Tabla 24

Tabla 24 Resultados del diseño experimental con análisis de desviación promedio absoluta para cada variable dependiente

N° CORRIDA	Coagulante	Floculante	pH	SST			DBO5			TURBIDEZ		
				Y exp	Y calc	AAD	Y exp	Y calc	AAD	Y exp	Y calc	AAD
1	4	0.3	8.5	127.00	119.67	0.38	74.80	72.80	0.18	94.00	93.02	0.07
2	2	0.1	8.5	156.00	157.13	0.05	91.20	92.01	0.06	180.20	196.78	0.61
3	6	0.1	8.5	129.00	129.88	0.05	80.40	79.31	0.09	167.00	193.88	1.07
4	2	0.5	8.5	136.00	135.13	0.04	76.80	77.89	0.09	149.00	136.63	0.55
5	6	0.5	8.5	149.00	147.88	0.05	74.40	73.59	0.07	128.00	125.93	0.11
6	2	0.3	8	144.00	141.50	0.12	88.40	87.94	0.03	164.00	171.96	0.32
7	6	0.3	8	146.00	143.75	0.10	78.00	79.44	0.12	150.00	147.66	0.10
8	4	0.3	8.5	115.00	119.67	0.27	75.60	72.80	0.25	79.30	93.02	1.15
9	2	0.3	9	142.00	144.25	0.11	88.00	86.56	0.11	127.00	143.91	0.89
10	6	0.3	9	125.00	127.50	0.13	77.60	78.06	0.04	148.00	154.61	0.30
11	4	0.1	8	124.00	125.38	0.07	82.00	81.65	0.03	192.00	187.58	0.15
12	4	0.5	8	124.00	127.38	0.18	75.50	74.87	0.06	102.00	126.53	1.60
13	4	0.1	9	126.00	122.63	0.18	82.80	83.42	0.05	190.00	180.03	0.35
14	4	0.5	9	118.00	116.63	0.08	70.00	70.35	0.03	94.00	112.98	1.35
15	4	0.3	8.5	117.00	119.67	0.15	68.00	72.80	0.47	84.00	93.02	0.72

V. CONCLUSIONES

- ✓ La combinación óptima de agente coagulante, floculante y pH del medio a tratar es de 4.1; 0.42 y 8.67, respectivamente para efectos de remoción de Sólidos Suspendidos Totales, DBO₅ y Turbidez del agua de sanguaza.

- ✓ El aumento de pH del agua de sanguaza, dentro del rango evaluado, mejora las condiciones de tratamiento para la remoción de sólidos suspendidos totales y turbidez.

- ✓ El polvo de semilla de moringa muestra efectos de coagulación durante los tratamientos, por lo que es una alternativa eco amigable como sustituto de agentes coagulantes de origen sintético para el tratamiento de efluentes pesqueros.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir evaluando otras variables como velocidad de agitación (RPM) durante la dosificación, variaciones de temperatura del agua de sanguaza a tratar, uso de agentes coagulantes y floculantes de origen natural; para evaluar su influencia sobre los parámetros fisicoquímicos de SST, Turbidez y DBO5.
- Se recomienda utilizar los mismos agentes coagulante natural de polvo de semilla de Moringa y el floculante sintético poliacrilamida en el tratamiento de otros efluentes de origen industrial pesquera.
- Realizar estudios de factibilidad para la producción y comercialización de polvo de semilla de moringa como agente coagulante natural como alternativa ecoamigable para el tratamiento de efluentes de la industria pesquera.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association International. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th Edition. Washington, APHA, AWWA, WWCF, 1992. p. 2-56.
- American Public Health Association International. (2008). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*. D 2035- 08.
- Andía, Y. (2000). Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. *Tratamiento de agua coagulación floculación*. Sedapal, 1 - 44.
- Arias-Lizárraga, D. M., & Méndez-Gómez, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(3), 115–123. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000300008&script=sci_arttext
- Arias-Hoyos, A., Hernández-Medina, J. L., Castro-Valencia, A. F., & Sánchez-Peña, N. E. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. Oleífera como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(spe), 29–39. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(EdiciónEspecial\)29-39](https://doi.org/10.18684/BSAA(EdiciónEspecial)29-39)
- ASTM International. (2008). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*. D 2035- 08. USA: ASTM.
- ATSDR. (2018). Toxicological Profile for Aluminum. Atlanta, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 305 pp. Recuperado de: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=191&tid=34>
- AWWA. (2005) *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*. United States Environmental Protection Agency. 21th Edition. New York. 2 - 59.

- Barboza, G. (2011). Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá –Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. Recuperado de: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza_pg.pdf
- Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. (Tesis de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Pp. 85 – 89.
- Cabrera, B. X., Contreras Moya, A. M., & Ramírez, M. F. (2019). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil “Desembarco del granma” a escala de laboratorio. *Tecnología química*, 29(3), 64–73. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2009.3.%1x>
- Campos, J., Colina, G., Fernández, N., Torres, G., & Ojeda, G (2013). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de Moringa Oleífera mediante HPLC. *Bol. Centro Investigación Biol.* Vol. 37, 35 - 43.
- Chun-Yang Yin. Uso emergente de coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de aguas y aguas residuales. (2010). *Process Biochemistry*. Vol. 45, 1437 – 1444.
- Daughlon & Christian., G. (2010). Quantitation of Acrylamide (and Polyacrylamide): Critical review of methods for trace determination/formulation analysis & Future research recommendations. EPA Environmental Sciences Division homepage. The California Public Health Foundation.
- Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE. Límites máximos permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias.
- Díaz, J. (2014). Coagulantes y floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. (Tesis de Maestría). Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Honduras. Recuperado de:

<http://www.cervantesvirtual.com/obra/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas/>

Eman, N., Suleyman, A., Hamzah M. (2009). Semillas de *Moringa Oleifera* como coagulante natural para el tratamiento de aguas. Décimotercera Conferencia Internacional Tecnológica del Agua, IWTC. Hurgada, Egipto. Recuperado de: http://iwtc.info/2009_pdf/2-5.pdf

Fuentes, M. N., Molina, R. E. J., & Ariza, C. P. Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción más limpia*. Vol. 11, 41 -54.

Fuentes, L., Contreras, W., Perozo, R. (2016). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda: *Penaeidae*) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*. Vol. VIII, 282-283.

García, F. (2007). Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. 1 ed. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/95033/UAEM-FaPUR-TESES_GEMMA_ARINTY_MORENO_CABRERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hernández, L. A., Galan M. P. (2015). *Manual de Depuración Uralita*. 3era Edición. Madrid. Thomson Editores.

Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *LIMENTECH*. Vol. 13. 123 – 135.

Keogh, M., Elmusharaf, P., Borde, K. (2017). Evaluación del coagulante natural *Moringa Oleifera* como pretratamiento para la SODIS en agua turbia contaminada. *Solar Energy*. Vol 158, 448 – 454.

- Lafleur, C., Fortier, J., Kharoune, L. (2018). Evaluación de un proceso de coagulación de floculación de quitosano para la eliminación de fósforo en efluentes de peces. Informe encargado por la SODIEM. Société de Développement de l'Industrie Maricole Inc. Canada. École de Technologie Supérieure.
- Mangini, S. P., Prendes, H. H., Amsler, M. L., & Huespe, J. (2003). Importancia de la floculación en la sedimentación de la carga de lavado en ambientes del río Paraná, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 18(3), 55-69.
- Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., & Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-103.
- Ndabigengensere, A., Narasiah, K., Talbot, B. (2015). Agentes activos y mecanismo de coagulación de aguas turbias utilizando *Moringa oleífera*. *Water Research*, Vol. 29, 703 – 710.
- Núñez, C. (2014). Recuperación de sólidos del agua de cola por coagulación-floculación y cuantificación de histamina. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1920/P10.N8-T.pdf?sequence=1>
- Quispe, H. (2012). Aplicación del mucílago extraído de nopal (opuntia ficus- indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma (Tesis de grado). Universidad nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna.
- Romero, R. (2012). Calidad del Agua. Bogotá: Editorial escuela de Ingeniería.
- Rondón Macías, M., Díaz Domínguez, Y., Rodríguez Muñoz, S., Guerra Álvarez, B., Fernández Santana, E., & Tabio García, D. (2017). Empleo de semillas de Moringa

oleífera en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 38(2), 87-101.

Satterfield, Z. (2016). Jar Testing. National Environmental Services Center. *Tech Brief. NASA*. Vol. 5. 1 – 4.

Seguridad Nacional de Pesquería. (2018). Harina de pescado: Perú lidera su producción mundial. Informe Semestral. Lima, Perú. Recuperado de: <https://www.snp.org.pe/harina-de-pescado/>

– Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., Kumar, A. (2014). Aplicación de coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de aguas residuales. *Technical Journals (IJAERS)*. Vol. 1, 88 – 92.

Vargas, M. (2016). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 1. 4 – 9.

ANEXOS

ANEXO 01

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos suspendidos totales o conocido de otra manera como el residuo no filtrable de una muestra de agua ya sea natural o residual industrial o doméstica, se define como la porción de material sólido retenido por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 115°C hasta peso constante.

Según APHA (2012), para la determinación de sólidos suspendidos es necesario mencionar que las muestras a trabajar se recolectaron en botellas de plástico (1L) y se refrigeró a 4 °C siendo analizado antes de las 24 horas, además de ello es importante mencionar que para la realización de SST se tiene que considerar 2 días máximo a refrigeración del muestreo. Para esto, se parte analizando los siguientes puntos:

a) ANÁLISIS DE SÓLIDOS TOTALES

Para la realización de este análisis se empleó 50 mL de agua de sanguaza; previamente se agitó para posteriormente adicionarle el volumen medido a un vaso de precipitación de 50 mL, después se colocó en una estufa a 115°C hasta que se obtenga un peso constante en seco. Finalmente se reporta el valor en ppm de sólidos totales (mg/L).

b) SÓLIDOS DISUELTOS

Se realizó un filtrado de la muestra para posteriormente medir 50 mL y colocarlo en el vaso de precipitación de 50 mL. Hallamos sólidos disueltos reemplazando valores obtenidos en la **Ecuación 1**.

$$\text{ppm sólidos totales} = \frac{(W2 - W1)}{50 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}}$$

Ecuación 1: Determinación de sólidos disueltos.

Donde:

W1 = peso del vaso seco (gr)

W2 = peso del vaso + muestra seca (gr)

V = 50 mL

c) SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Finalmente, para la determinación de sólidos suspendidos totales, se halló por diferencia de sólidos totales y sólidos disueltos, valores que se obtuvieron previamente. **Ecuación 2.**

Sólidos suspendidos totales

= Sólidos totales – Sólidos disueltos

Ecuación 2: Determinación de SST.

Dónde:

SST = Sólidos suspendidos totales en mg/L

FUENTE: APHA, 2012

ANEXO 02

DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ

Las unidades nefelométricas de turbidez se miden determinando la intensidad de luz de dispersión lateral. Un haz de luz pasa a través de la celda de flujo y se detecta la luz dispersada producida por las partículas sólidas (turbidez) en un ángulo específico (90°). Este método de medición ignora la luz que pasa directamente a través de la célula.

La turbidez es uno de los parámetros más importantes en la calidad del agua, puesto que es un indicativo de su contaminación, tiene un papel importante en el desempeño de laboratorios de prueba de análisis de las plantas de tratamiento de aguas residuales y de plantas purificadoras de agua.

Se determinará la turbidez del agua de sanguaza tratada por el Método US – EPA 180.1, el cual se detalla a continuación.

- a) Se verificará que los viales que contendrán las diferentes muestras se encuentren limpios, secos, sin ralladuras ni manchas sobre su superficie que puedan interferir en la medición.
- b) Se encenderá el turbidímetro y seleccionará el método EPA 180.
- c) Se realizará la medición de tres viales conteniendo estándares primarios SDVB, debiendo encontrarse en +/- 10% del valor especificado en cada vial.
- d) Luego se medirá un blanco a base de agua destilada, el valor deberá ser menor a 0.1 NTU.

e) Se enjuagará el vial con una pequeña cantidad de muestra de sanguaza a analizar, luego se agregará dicha muestra al vial y se colocará en el equipo para su medición (measure). Se tomará el valor expresado en NTU.

FUENTE: Método US - EPA 180.1

ANEXO 03

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), corresponde a la cantidad de oxígeno consumido para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada. Se procederá y adaptará la determinación de DBO5 del agua de sanguaza hallando, en primera instancia, la demanda química de oxígeno (Método US – EPA 410.4) y, luego, obtener el valor de la demanda bioquímica de oxígeno a partir del factor de relación entre ambas (factor de relación entre DBO5 y DQO por el grado biodegradabilidad de aguas residuales, de acuerdo a Hernández y Galan, 2015).

Para determinar el DQO, se añadirá 2 mL de agua desionizada al Vial 1 y 2 mL de muestra homogénea al Vial 2. Se cerrará fuertemente la tapa de los viales y se mezclará invirtiéndolos un par de veces. De esta manera, se introducirá los dos viales en el Reactor de Digestión y se encenderá para que los viales se calienten durante 2 horas a 150°C. Luego, se dejará enfriar los viales hasta temperatura ambiente.

Para realizar la lectura de DQO en el colorímetro multiparmétrico se seleccionará, para HR como nuestro caso, el Método 131 DQO MR TT. Se introducirá el blanco en el porta-cubetas y se pulsará (la tecla 9) “ZERO”. Cuando el display indique “ZERO ACEPTADO” se retirará el blanco, se colocará la muestra y se pulsará (la tecla 6) “TEST”. Se anotará el valor de la DQO dado en mg/L.

Este valor lo correlacionamos con el factor de biodegradabilidad del agua residual.

$\frac{DBO_5}{DQO}$	Biodegradabilidad del agua residual
= 0.2	Poco biodegradable
0,2 – 0,4	Biodegradable
>ó= 0,4	Muy biodegradable

Es decir, tener un efluente de naturaleza industrial como el agua de sanguaza, lo caracteriza dentro de un agua residual poco biodegradable por lo que su factor de correlación es de 0.2. De esta manera, el valor obtenido de la DQO lo multiplicamos por dicho factor y obtendremos el valor de la DBO₅.

FUENTE: Método US – EPA 410.4. - Hernández & Galan, 2015.

ANEXO 04**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE SANGUAZA**

Figura Determinación de Sólidos Suspendedos Totales del agua de sanguaza



Figura 28 Determinación de Turbidez del agua de sanguaza

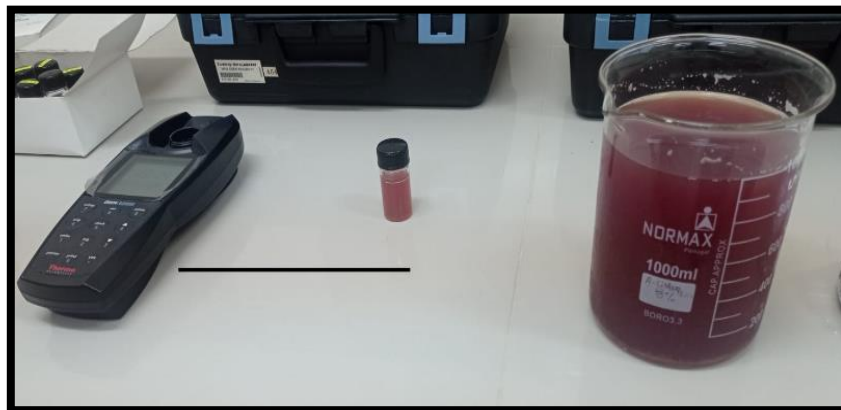


Figura 31 Determinación de Demanda Química de Oxígeno



ANEXO 05
OBTENCIÓN DEL POLVO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA

Figura 32 Semilla de Moringa Oleifera



Figura 33 Pesado

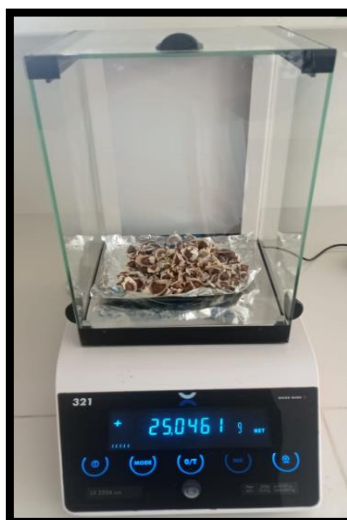


Figura 34 Semillas de Moringa Oleífera descascaradas en incubadora



Figura 35 Secado de Semillas de Moringa Oleífera



Figura 36 Triturado y tamizado de semillas de Moringa



Figura 37 Obtención del polvo de semilla de Moringa Oleífera



ANEXO 06

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES Y DOSIFICACIÓN

Figura 38 Soluciones de la corrida N° 8 del polvo de semilla de moringa y del agente floculante sintético



Figura 39 Regulación del agua de sanguaza



Figura 40 Dosificación del polvo de semilla de moringa al agua de sanguaza



Figura 41 Dosificación del floculante sintético poliacrilamida

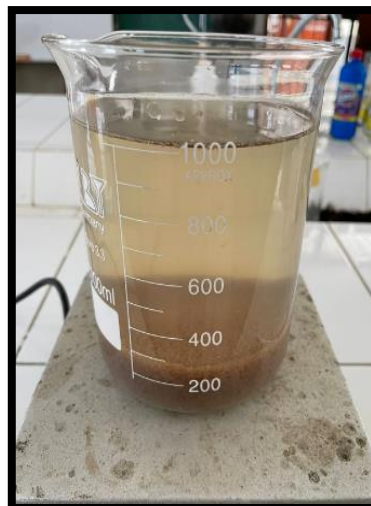


ANEXO 07**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA DE SANGUAZA TRATADA****Figura 42** Determinación de Sólidos Suspendedos Totales**Figura 43** Determinación de Turbidez

Figura 46 Determinación de DQO5




Figura 47 Sanguaza Tratada



ANEXO 08

FICHA TÉCNICA CHEMIFLOX-600 – FLOCULANTE SINTÉTICO

 <p>HYDROTECH PERU IMPORT EIRL</p> <p>Av. Universitaria N° 8109 - Comas Telef: 5366426 / RPC: 958056627 – 958056746 RPM: 948156010 - 950896949 Los Ishpingos Mz 11 Lote 11 Urb. La Rinconada - Trujillo Telef: 044-215815 /RPC: 958056262 ventas_hydrotechperu@hotmail.com www.hpi.com.pe</p>	<h1>CHEMIFLOX-600</h1>																		
<h2>BOLETIN TÉCNICO</h2>																			
<p align="center"><u>PRODUCTO SÓLIDO FLOCULANTE PRIMARIO Y CLARIFICANTE DE AGUAS TURBIAS SUPERFICIALES DE RÍO O CANAL, DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO Y A LA INDUSTRIA DE PROCESOS ALIMENTICIOS</u></p>																			
<p><u>ESPECIFICACIONES:</u></p>																			
<table> <tr> <td>Apariencia</td> <td>:</td> <td>Sólido granulado</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>:</td> <td>Blanco</td> </tr> <tr> <td>Olor</td> <td>:</td> <td>Inodoro</td> </tr> <tr> <td>pH (solución al 2%)</td> <td>:</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>Densidad (gr/ml)</td> <td>:</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Solubilidad</td> <td>:</td> <td>Producto completamente soluble en agua.</td> </tr> </table>	Apariencia	:	Sólido granulado	Color	:	Blanco	Olor	:	Inodoro	pH (solución al 2%)	:	10.00	Densidad (gr/ml)	:	1.0	Solubilidad	:	Producto completamente soluble en agua.	
Apariencia	:	Sólido granulado																	
Color	:	Blanco																	
Olor	:	Inodoro																	
pH (solución al 2%)	:	10.00																	
Densidad (gr/ml)	:	1.0																	
Solubilidad	:	Producto completamente soluble en agua.																	
<p><u>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:</u></p>																			
<p>CHEMIFLOX-600, es un producto floculante, sólido, blanco y moderno. Está formulado estequiometricamente a base de sales de Aluminio de alto peso molecular, estabilizados y potenciados con agentes reguladores del pH del agua, para incrementar su acción floculadora y clarificadora de la misma una vez que entra en contacto con ella.</p>																			
<p>Así mismo lleva en su formulación agentes quelantes o secuestrantes de la dureza total del agua y metales pesados, los cuales ocasionan depósitos de incrustaciones en líneas de conducción de agua, mangueras, goteros y otras áreas por donde se traslada el agua. Estos agentes, también disminuyen el mal sabor del agua.</p>																			
<p>CHEMIFLOX-900; se disuelve fácilmente e íntegramente en agua, para cumplir con su acción floculadora. No desprenden vapores tóxicos, ni es peligroso para la salud del consumidor.</p>																			
<p><u>Es un producto alternativo de primer nivel para ser empleado como floculante primario, sedimentador y clarificante de aguas turbias, superficiales de río, acequia o canal.</u></p>																			
<p>CHEMIFLOX-600; se presenta como un producto sólido granulado, el cual para alimentarlo al sistema de tratamiento de agua, se deberá preparar una solución madre que tenga una concentración entre el 2 – 4% con agua clarificada.</p>																			
<p>Esta solución madre, así preparada, se alimentará al sistema, a través de una bomba dosificadora de productos químicos, también se alimentará en forma manual a través de uno o 2 tanques elevados los cuales dejarán caer la solución madre por gravedad.</p>																			
<p>CHEMIFLOX-600; se emplea para tratamiento de floculación tanto de aguas superficiales, así como de aguas residuales de diferentes tipos de Industria, piscinas, albercas, etc. Trabaja en una dosificación que va desde 5, 10, 20, 30 y 40 p.p.m. de acuerdo al grado de turbidez del agua.</p>																			
<p>Se recomienda, efectuar las pruebas de jarras respectivas, para encontrar la dosificación más certera para cada característica del agua a tratar.</p>																			
<p>Luego que se dosifica CHEMIFLOX-600 al agua en la dosificación recomendada, se mezcla y homogeniza bien la solución, para inmediatamente alimentar al tratamiento, el floculante polimérico y orgánico HYDROFLOX-900.</p>																			

Con la alimentación de estos 2 productos floculantes al agua, se conseguirá una excelente clarificación de la misma en un corto periodo de tiempo.

La concentración de los floculantes y el tiempo de residencia en el agua son básicos en el proceso de floculación y clarificación de la misma.

USOS Y APLICACIONES:

El CHEMIFLOX-600, se emplea en todo sistema de agua superficial de río, que esté turbia, con la finalidad de flocularla, sedimentarla y clarificarla de todos los sólidos y coloides que tiene en suspensión, en forma rápida y efectiva.

También se emplea en las plantas de tratamiento de agua, en los sistemas de decarbonatación con cal, con la finalidad de sedimentar y clarificar el agua rápidamente.

Se emplea en toda Industria agrícola, en todo municipio para tratamiento de agua para consumo Humano, en todo proceso agroindustrial, en plantas embotelladoras, plantas de productos lácteos, plantas procesadoras de conservas de pescado y productos Hidrobiológicos, plantas procesadoras de néctares y en toda industria general, donde la fuente de agua sea de río o en toda agua que tenga turbidez y desee una floculación rápida y eficiente.

Se emplea también en el tratamiento de aguas residuales, piscinas, albercas, deshidratación de lodos y espesamiento de lodos. La aplicación del producto se realiza en forma directa a la línea de agua cruda, antes que ésta ingrese al floculador. Se emplea una bomba dosificadora de productos químicos o algún otro sistema de Inyección.

DOSIFICACIÓN:

Para obtener una dosificación óptima del producto y conseguir una excelente floculación, se recomienda realizar la prueba de jarras respectivas, en su laboratorio.

Sabemos que toda agua de río tiene sus propias características fisicoquímicas y difieren una de otra. Sin embargo les proporcionamos una dosificación promedia que es de 10 grs. / m³ de agua a tratar.

En época en que no hay lluvia, la dosificación puede ser de hasta 15 grs. / m³ de agua y en época en que hay lluvias fuertes esta dosificación se puede incrementar hasta 20 grs. / m³ de agua.

Es muy importante, poner bastante énfasis en que el producto tiene que disolverse completamente en el agua donde se prepara la solución madre. Tiene que estar completamente disuelto y homogenizado.

La solución madre del producto puede prepararse desde el 2% hasta el 4%. La dosificación debe realizarse en un punto de turbulencia, para asegurar la mezcla completa del producto con el agua a tratar.

PRECAUCIONES:

- El producto no requiere de precauciones muy especiales. Sin embargo deberá emplearse guantes de goma en su manipulación.
- No desprende vapor alguno durante su preparación.
- Emplear ropa de protección personal y de seguridad para prevenir cualquier accidente.
- Si hay algún contacto con la piel o ropa, lavarse con abundante agua.
- Almacenar el producto en envases cerrados, en lugares frescos y bajo sombra. El producto es hidróscopico (absorbe agua del medio ambiente), por lo que se recomienda almacenar en parihuelas de madera.

PRESENTACIÓN:

Sacos por 50 Kg.

9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
10	www.celaya.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
11	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	www.buenastareas.com Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	la-respuesta.com Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	tangara.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
18	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
20	www.fraserinstitute.org Fuente de Internet	<1 %

21	M.-L. Chen. "The Voice Recognition Design in Twin Rotor Helicopter via Grey Relational Grade", Advances in Computer Science and Engineering, 2010 Publicación	<1 %
22	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
25	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
27	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
28	www.ovsa.njit.edu Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
30	www.cardique.gov.co Fuente de Internet	<1 %
31	dspace.ucuenca.edu.ec	

Fuente de Internet

<1 %

32

eprints.uanl.mx

Fuente de Internet

<1 %

33

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

34

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

35

repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx

Fuente de Internet

<1 %

36

repositorio.upnfm.edu.hn

Fuente de Internet

<1 %

37

Submitted to Universidad Cientifica del Sur

Trabajo del estudiante

<1 %

38

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

<1 %

39

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

40

issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

41

Submitted to University of Nottingham

Trabajo del estudiante

<1 %

42

zaloamati.azc.uam.mx:8080

Fuente de Internet

<1 %

43	repositorio.udl.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
48	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
49	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
51	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words