

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EFECTO DE FLOCULANTES ALTERNATIVOS EN LA
MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POTENCIAL
CONSUMO HUMANO EN SANTA MARÍA, HUAURA
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL
JEAN CARLOS ALFONSO PADILLA RAMÍREZ
MILKO MIGUEL VELARDE CONDORI**

ASESOR

Mg. Sc. ERONCIO MENDOZA NIETO

HUACHO – PERÚ

2023

EFFECTO DE FLOCULANTES ALTERNATIVOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POTENCIAL CONSUMO HUMANO EN SANTA MARÍA, HUAURA

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.pucp.edu.pe	

EFFECTO DE FLOCULANTES ALTERNATIVOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POTENCIAL CONSUMO HUMANO EN SANTA MARÍA, HUAURA

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Tecnológica del Peru Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.pucp.edu.pe	

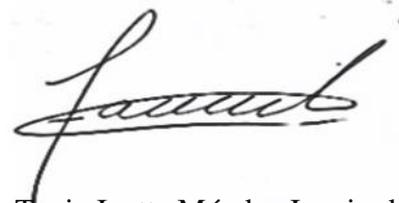
**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AMBIENTAL
EFECTO DE FLOCULANTES ALTERNATIVOS EN LA
MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POTENCIAL
CONSUMO HUMANO EN SANTA MARÍA, HUAURA**

Jurado evaluador:



Dr. Dionicio Belisario Luis Olivas

Presidente



Mg. Tania Ivette Méndez Izquierdo

secretario



Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco

Vocal



Mg. Sc. Eroncio Mendoza Nieto
INGENIERO AGRONOMO
CIP. 45592

Mg. Sc. Eroncio Mendoza Nieto

Asesor

HUACHO - PERÚ

2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN N°031-2023-FIAIAyA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la ciudad de Huacho, el día 25 de abril del 2023, siendo las 14 horas, en la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador integrado por:

Presidente	Dr. DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS	DNI N°15651224
Secretario	Mg. TANIA IVETTE MENDEZ IZQUIERDO	DNI N°46925087
Vocal	Mg. HELLEN YAHAIRA HUERTAS POMASONCCO	DNI N°46741141
Asesor	Mg. Sc. ERONCIO MENDOZA NIETO	DNI N°06723932

Para evaluar la sustentación de la tesis titulada: "EFECTO DE FLOCULANTES ALTERNATIVOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POTENCIAL CONSUMO HUMANO EN SANTA MARÍA, HUAURA" Los postulantes al Título Profesional de Ingeniero Ambiental don: PADILLA RAMIREZ JEAN CARLOS ALFONSO, identificado con DNI N°75134893 y don: VELARDE CONDORI MILKO MIGUEL, identificado con DNI N°70261456, procedieron a la sustentación de Tesis, autorizada mediante Resolución de Decanato N°0268-2023/FIAIAyA, de fecha 20/04/2023 de conformidad con las disposiciones vigentes, los postulantes SI absolvieron las interrogantes que le formularon los miembros del Jurado.

Concluida la sustentación de Tesis, se procedió a la votación correspondiente resultando los candidatos APROBADOS por UNANIMIDAD con la nota de:

CALIFICACIÓN		EQUIVALENCIA	CONDICIÓN
NÚMERO	LETRAS		
18	DIECIOCHO	EXCELENTE	APROBADO

Siendo las 15 horas del día 25 de abril del 2023 se dio por concluido el ACTO DE SUSTENTACIÓN de Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental inscrito en el folio N°371 del Libro de Actas



Dr. DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS
Presidente



Mg. TANIA IVETTE MENDEZ IZQUIERDO
Secretario



Mg. HELLEN YAHAIRA HUERTAS POMASONCCO
Vocal



Mg. ERONCIO MENDOZA NIETO
Asesor

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón a mi madre, pues sin ella no lo hubiera logrado; a mi abuela quien desde el cielo, con su bendición, a diario me protege y me lleva por el camino del bien. A estas dos mujeres, Luz Claribel Ramirez Chavez y Juana Felicita Chavez Magaña; a quienes les debo mi vida, les dedico mi trabajo en ofrenda por su dedicacion y amor, las amo.

Jean Carlos Alfonso Padilla Ramirez

DEDICATORIA

Dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia en especial a mis padres que me apoyaron en los buenos y malos momentos; por enseñarme a afrontar las dificultades y hacerme un hombre de bien, sin su ayuda nada de esto sería posible.

A mis hermanos, que me ayudan a ser un mejor ser humano y persona día a día, ya que como hijos tenemos la tarea de enorgullecer a quienes con tanto esfuerzo y dedicación nos sacaron adelante. A mi compañero y gran amigo Jean Carlos ya que sin el nada de esto sería posible pues compartimos trabajo, anécdotas y mucho esfuerzo de por medio.

Milko Miguel Velarde Condori

AGRADECIMIENTO

Al jurado evaluador por brindar y disponer de su valioso tiempo en cada etapa; a nuestro asesor Mg. Sc. Eroncio Mendoza Nieto por haber confiado en nosotros y habernos guiado con su experiencia.

A todas las personas directa e indirectamente involucradas en la realización de este trabajo, les agradecemos infinitamente.

Jean y Milko

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Problemas específicos.....	17
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4. Justificación de la investigación.....	18
1.5. Delimitación del estudio.....	18
1.5.1 Delimitación territorial.....	18
1.5.2 Delimitación temporal y espacial.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	20
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1 Procesos de remoción de sólidos.....	21
2.2.2 Parámetros que condicionan el proceso de coagulación-floculación:.....	22
2.2.3 Coagulantes más utilizados.....	23
2.2.4 Efectos en la salud del uso de coagulantes químicos.....	26
2.2.5 Impacto ambiental.....	27
2.2.8. Test de jarras.....	27
2.2.9 Normas legales.....	28

2.3. Definición de términos básicos.....	32
2.3.1 Turbidez.....	32
2.3.2 Equipo de test de arras.....	32
2.3.3 Coagulación.....	32
2.3.4 Floculación.....	33
2.3.5 Coagulantes – floculantes.....	33
2.3.6 Agitador mecánico.....	33
2.3.7 Sólidos totales disueltos.....	33
2.3.8 pH.....	33
2.3.9 Conductividad.....	33
2.3.10 Temperatura.....	34
2.3.11 Muestra de agua simple o puntual.....	34
2.4. Hipótesis de investigación.....	34
2.4.1 Hipótesis general.....	34
2.4.2 Hipótesis específicas.....	34
2.5. Operacionalización de variable.....	35
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	36
3.1. Gestión del experimento.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1 Ubicación.....	36
3.1.2 Características del área experimental.....	40
3.1.3 Tratamientos.....	41
3.1.4 Diseño experimental.....	60
3.1.5 Variables a evaluar.....	61
3.1.6 Conducción del experimento.....	63
3.2. Técnicas para el procesamiento de la información.....	72
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	73
4.1. Análisis de parámetros complementarios de la calidad de agua.....	73
4.1.1 Análisis de pH.....	74
4.1.2 Análisis de sólidos totales disueltos.....	74
4.1.3 Análisis de la conductividad eléctrica.....	75
4.1.4 Análisis de la temperatura.....	76
4.2. Análisis del porcentaje de remoción de la turbidez.....	77
4.3. Valor de sostenibilidad de los tratamientos.....	80
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	82

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
4.4. Conclusiones.....	83
4.5. Recomendaciones	84
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS	85
ANEXOS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la acción de desestabilización de las cargas del material.....	22
Figura 2. Equipo de test de jarras).	28
Figura 3. Ubicación del área de estudio a nivel de campo	36
Figura 4. Ubicación del área de estudio a nivel de laboratorio.....	37
Figura 5. Ubicación del área de estudio, Bloque I – Los Pinos Santa María	37
Figura 6. Ubicación del área de estudio, Bloque II - Sevilla Santa María.....	38
Figura 7. Ubicación del área de estudio, Bloque III – rio Huaura.....	38
Figura 8. Ubicación del área de estudio a nivel de laboratorio – UNJFSC Huacho.....	39
Figura 9. Proceso de obtención de mucilago de Tuna	41
Figura 10. Recolección de pencas.....	42
Figura 11. Pencas de tuna recolectadas	42
Figura 12. Lavado manual de pencas de tuna	43
Figura 13. Pelado de penca	43
Figura 14. Cortado en cubos	44
Figura 15. Trituración mediante licuado simple	44
Figura 16. Primer filtrado	45
Figura 17. Producto del primer filtrado	45
Figura 18. Centrifugación	46
Figura 19. Producto del primer centrifugado.....	46
Figura 20. Solución de mucilago y etanol	47
Figura 21. Mucilago precipitado.....	47
Figura 22. Producto del segundo filtrado.....	48
Figura 23. Producto seco de mucilago de tuna	48
Figura 24. Pesada para dosificación de mucilago de tuna en polvo	49
Figura 25. Semillas de moringa compradas en el mercado local.....	50
Figura 26. Pelado de semilla de moringa.....	50
Figura 27. Pulverizado	51
Figura 28. Tamizado de partículas de 1 mm.....	51
Figura 29. Extracción manual de aceites	52
Figura 30. Secado en estufa	53
Figura 31. Pesada para dosificación de floculante de semilla de moringa	53
Figura 32. Obtención del almidón. Fuente: Ortiz et al. (2018).....	54
Figura 33. Obtención del almidón. Fuente: Ortiz et al. (2018).....	54

Figura 34. Pelado manual de yuca	55
Figura 35. Corte de yuca en secciones y sancochado a temperatura constante	55
Figura 36. Triturado hasta disolución completa	56
Figura 37. Triturado hasta disolución completa	56
Figura 38. Muestra lista para ser refrigerada	57
Figura 39. Producto antes del centrifugado	57
Figura 40. Producto antes del centrifugado	58
Figura 41. Producto seco de almidón de yuca	58
Figura 42. Pulverización mecánica del almidón	58
Figura 43. Pesada de yuca en polvo.....	59
Figura 44. Floculante mixto ya dosificado	59
Figura 45. Esquema de la conducción sistemática del experimento.....	63
Figura 46. Estación de monitoreo B-I.....	64
Figura 47. Extracción de muestra B-I.....	65
Figura 48. Estación de monitoreo B-II	65
Figura 49. Extracción de muestra B-II.....	66
Figura 50. Estación de monitoreo B-III	67
Figura 51. Extracción de muestra B-III	67
Figura 52. B-IV o blancos.....	68
Figura 53. Mesa de trabajo	68
Figura 54. Calibración de multiparámetros con solución Buffer.....	69
Figura 55. Medición inicial de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura.....	69
Figura 56. Medición inicial de turbidez.....	70
Figura 57. Mesa de trabajo por tratamiento y bloques	71
Figura 58. Muestras post agitación	71
Figura 59. Variación de pH en función del tratamiento aplicado	74
Figura 60. Variación de TDS en función de los tratamientos.....	75
Figura 61. Variación de conductividad eléctrica en función de los tratamientos	76
Figura 62. Variación de la temperatura en función de los tratamientos	77
Figura 63. Porcentaje de turbidez removida por tratamiento.....	79
Figura 64. Porcentaje de turbidez removida por bloque	79
Figura 65. Valor de sostenibilidad por tratamiento	81
Figura 66. Grafica costo por litro de agua tratada, por % de turbidez removida.....	91

Figura 67. Grafica de niveles inicial y final del pH comparados con la norma.....	91
Figura 68. Grafica de niveles inicial y final de la turbidez comparados con la norma...	92
Figura 69. Grafica de niveles inicial y final de la conductividad eléctrica comparados con la norma.....	92
Figura 70. Grafica de niveles inicial y final de los sólidos totales disueltos comparados con la norma.....	93
Figura 71. Equipo medidor de la turbidez muestra excedencia de UNT para resultados después de la aplicación de la moringa.....	93
Figura 72. Cadena de custodia de medición de parámetros en campo en B-I.....	94
Figura 73. Cadena de custodia de medición de parámetros en campo en B-II (Sevilla)	94
Figura 74. Cadena de custodia de medición de parámetros en campo en B-III	95
Figura 75. Cadena de custodia de medición de parámetros en campo en B-IV	96
Figura 76. Ficha de valores post ensayo de jarras	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sustancias que modifican el pH	23
Tabla 2. Coagulantes químicos de naturaleza metálico.....	24
Tabla 3. Composición química de tuna	25
Tabla 4. Estándar de calidad de agua	30
Tabla 5. Límites máximos permisibles de agua para consumo	31
Tabla 6. Operacionalización de variables	35
Tabla 7. Coordenadas UTM de bloques o puntos de muestreo	40
Tabla 8. Tratamientos y bloques a utilizar en el experimento.....	60
Tabla 9. Cuadro de anova para un diseño de bloques completos al azar para el porcentaje de remoción de turbidez.....	72
Tabla 10. Análisis de la varianza de los parámetros complementarios de la calidad de agua.....	79
Tabla 11. Análisis de la varianza del porcentaje de remoción de la turbidez	78
Tabla 12. Valor de sostenibilidad de los tratamientos	80
Tabla 13. Escala de valoración para la variación de pH.....	89
Tabla 14. Escala de valoración para la variación de la conductividad eléctrica.....	89
Tabla 15. Escala de valoración para la variación de la temperatura.....	89
Tabla 16. Escala de valoración para el porcentaje de turbidez removida.....	89
Tabla 17. Escala de valoración para la valoración económica	90
Tabla 18. Escala de valoración para la variación de sólidos totales disueltos.....	90
Tabla 19. Gastos realizados por tratamiento para la obtención de los floculantes	90

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Escala de valoración de la calidad de agua para hallar valor de sostenibilidad...	89
Anexo 2. Evaluación económica de los tratamientos por agua tratada	90
Anexo 3. Graficas de niveles iniciales y finales de los parámetros complementarios comparados con la normativa nacional.....	91
Anexo 4. Evidencia de excedencia de turbidez para turbidez final tras la aplicación del floculante hecho a base de semilla de moringa en polvo.....	93
Anexo 5. Cadena de custodia de parámetros de campo y registro final de valores en laboratorio post ensayo de jarras.....	94

RESUMEN

Objetivo: Determinar el efecto de flocculantes alternativos en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano en el distrito de Santa María. **Metodología:** Se implementó el diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos (T1 (Testigo), T2 (mucilago de tuna en polvo), T3 (mucilago de tuna en trozos), T4 (moringa en polvo), T5 (sulfato de aluminio) y T6 (Almidón de yuca más sulfato de aluminio)) dispuestos en cuatro bloques, siendo estos las localidades (B1 (Centro Poblado Los Pinos), B2 (Sector de Sevilla), B3 (Río Huaura) y B4 (agua destilada)). Las variables evaluadas fueron el porcentaje de remoción de la turbidez, pH, total de sólidos disueltos, conductividad eléctrica y la temperatura. Los datos obtenidos fueron analizados utilizando el análisis de la varianza y los datos fueron comparados con la norma nacional y evaluados económicamente. **Resultados:** Los flocculantes tuvieron efecto con diferencias altamente significativas en cuanto a la remoción de la turbidez en el agua ($P < 0.01$), a excepción del mucilago de tuna en polvo el cual tuvo efecto similar al sulfato de aluminio ($P > 0.05$). En cuanto al pH, los tratamientos tuvieron efectos completamente diferentes. En la conductividad eléctrica de las muestras, los tratamientos tuvieron efectos similares ($P > 0.05$). Para la variable sólidos totales disueltos, hubo tratamientos que tuvieron un efecto mayor siendo un P valor menor de 0.01. Para la temperatura los tratamientos tuvieron efectos significativamente diferentes. **Conclusiones:** El mucilago de tuna en polvo como flocculante natural muestra efecto similar al sulfato de aluminio en el tratamiento de la turbidez del agua de potencial consumo, teniendo mejores resultados en su calidad final y además es más económico. **Palabras clave:** Flocculante, turbidez, calidad del agua, sostenibilidad, mucilago de tuna, sulfato de aluminio, almidón de yuca, moringa oleífera.

ABSTRACT

Objective: To determine the effect of alternative flocculants in improving the quality of water for potential human consumption in the district of Santa Maria. Methodology: Randomized complete block design was implemented with six treatments, (T1 (Control), T2 (prickly pear mucilage powder), T3 (prickly pear mucilage in pieces), T4 (moringa powder), T5 (aluminum sulfate) and T6 (cassava starch plus aluminum sulfate)) arranged in four blocks, being these the localities (B1 (Los Pinos Village Center), B2 (Sevilla Sector), B3 (Huaaura River) and B4 (distilled water)). The variables evaluated were turbidity removal percentage, pH, total dissolved solids, electrical conductivity and temperature. The data obtained were analyzed using analysis of variance and the data were compared with the national standard and evaluated economically. Results: The flocculants had an effect with highly significant differences in the removal of turbidity in the water ($P < 0.01$), with the exception of prickly pear cactus mucilage powder, which had a similar effect to aluminum sulfate ($P > 0.05$). As for pH, the treatments had completely different effects. In the electrical conductivity of the samples, the treatments had similar effects ($P > 0.05$). For the variable total dissolved solids, there were treatments that had a greater effect with a P value of less than 0.01. For temperature, the treatments had significantly different effects. Conclusions: The powdered prickly pear cactus mucilage as a natural flocculant shows similar effect to aluminum sulfate in the treatment of the turbidity of water for potential consumption, having better results in its final quality and it is also more economical.

Key words: Flocculant, turbidity, water quality, sustainability, tuna mucilage, aluminum sulfate, cassava starch, moringa oleifera.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La calidad del agua, en las últimas décadas, ha significado un objeto de estudio tomados en cuenta por muchos científicos a nivel mundial. Cada día las características del agua empeoran debido a múltiples factores, tanto naturales como antrópicos, lo que ocasiona un daño severo a la salud pública de las sociedades quienes son abastecidas con este líquido elemento (Villena, 2018).

La caracterización del agua se ve afectada por contaminantes que pueden modificar su temperatura, color, etc. La calidad del agua depende mucho de sus componentes químicos, microbiológicos y físicos. Este último componente al igual que los demás, representa una importancia vital en la salud pública, por lo que centrarse en su conservación y preservación ha ido creciendo en los últimos años. La presencia de material sólido disuelto como el lodo, limo, coloides, plancton y organismos microscópicos provoca la turbidez del agua. Estas partículas (cuyos tamaños varían de 10 mm hasta 0,1 mm) pueden ser de tres tipos: húmico, minerales y fibrosas (Lozano, 2018).

Muchas ciudades implementan plantas de potabilización en las cuales incluyen tratamiento primario o físico-químico. El proceso de tratamiento de agua para consumo y aguas residuales consisten esencialmente en un tratamiento primario que se basa en coagulantes y floculantes que se utilizan con la finalidad de eliminar la mayor parte de los contaminantes. Estos productos químicos usan por lo general sulfatos y otros polímeros provenientes de países con alto desarrollo económico (Carrasquero *et al.*, 2017).

Esta “solución” en muchos casos representa otro peligro pues, luego de aplicadas las sustancias químicas, éstas dejan trazas tóxicas para la salud de las personas. Existe una relación definida entre la salud y la calidad del agua, lo cual representa una cuestión relevante en el sector sanitario, incluso para el evento internacional más importante de sanidad de los 70’s, Alma-Ata, dejando un lema que da a entender que para el año 2000 habría salud para todos. Lo anterior representa una estrategia que lograría mejorar la salud de la población, tomando como prioridad el saneamiento básico legal y las alternativas de mejora para el sistema de agua potable. Cabe mencionar que además de la relación mencionada anteriormente, la OMS también ha encontrado una relación directa entre la pobreza y la calidad de agua (Villena, 2018).

En las plantas potabilizadoras de agua se usan productos químicos como el sulfato de aluminio para la eliminación de la materia orgánica y los coloides, resultando aguas de mejor calidad. Las elevadas concentraciones de aluminio residual en el agua tratada traen consigo

complicaciones en la salud de los consumidores, lo que propone el desarrollo de coagulantes alternativos ambientalmente aceptables para reemplazarlo o complementarlos (Acevedo., 2019).

Para las personas que viven en zonas rurales les resulta imposible tratar el agua que tienen a su alcance, lo que obliga a recurrir fuentes precarias de agua lo que los expone a enfermedades (Dávila *et al.*,2018). Por lo anteriormente mencionado, es necesario implementar nuevas alternativas de bajo costo que permitan la potabilización del agua sin dañar el medio ambiente y los organismos vivos que se benefician de él (Mera-Alegría *et al.*, 2016).

Este estudio se realizó para evaluar la eficiencia de floculantes químicos, naturales y la mezcla de estos con el fin de demostrar cuál de estas alternativas es más ecoeficiente tomando en cuenta el porcentaje de remoción de la turbidez, la calidad de agua resultante luego de aplicar los tratamientos y su respectiva valoración económica.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto de los floculantes en la mejora de la calidad del agua para consumo humano en el distrito de Santa María?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de los floculantes en la disminución de material sólido disuelto?
- ¿Qué floculante tiene mejor porcentaje de reducción de la turbidez?
- ¿Cuál floculante resulta ser más ecoeficiente y económico?

1.3. ¿Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar el efecto de los floculantes en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano en el distrito de Santa María.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar que floculante tiene mejor incidencia en los resultados finales del material sólido disuelto presentes en el agua destinada al consumo.
- Evaluar cuál de los floculantes resulta tener mayor porcentaje de remoción de la turbidez.
- Determinar cuál de los floculantes más ecoeficiente y de menor costo.

1.4. Justificación de la investigación

Actualmente, el tema de los floculantes ha ido tomando lugar dentro del mundo de la ciencia y la investigación, debido a que el agua al ser un recurso no renovable, es objeto de múltiples experimentos para poder ser preservada. Es por esto que muchos investigadores proponen sustancias inocuas para su tratamiento.

Este trabajo beneficiario a muchas localidades que no tienen acceso a redes de distribución de agua potable o que en su defecto el líquido elemento que reciben es de muy mala calidad, los usuarios tendrían una opción económica para tratar el agua en sus domicilios sin riesgo alguno.

Este trabajo favorece mucho al campo de la investigación experimental puesto que en el Perú y más aún en la línea de carrera ambiental muy pocos se atreven a realizar, lo cual conllevaría a motivar a las siguientes generaciones de profesionales se atrevan a realizar investigaciones similares contribuyendo a la ampliación del conocimiento científico.

1.5. Delimitación del estudio

1.5.1 Delimitación territorial

- País : Perú
- Distrito : Santa María
- Provincia : Huaura
- Departamento: Lima

1.5.2 Delimitación temporal y espacial

El periodo de tiempo para realizar este estudio comprendió desde los meses de octubre hasta diciembre del 2022, la parte experimental comprendió los meses de octubre y noviembre, cuyas muestras fueron extraídas de domicilios abastecidos de agua de diferentes formas (con sistema de distribución por tubería, con agua proveniente de camiones cisternas y además del río Huaura) del distrito de Santa María. Mientras que el mes de diciembre se realizara el debido manejo estadístico de los datos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Meza-Leones *et al.* (2018), comparando la capacidad coagulante de las semillas de moringa y del sulfato de aluminio mediante la prueba de jarras, determinaron que el sulfato de aluminio disminuyó la turbidez en un 96%, mientras que las semillas de moringa redujeron la misma característica en un 64%, por lo que concluyeron que, por su tolerable toxicidad, este coagulante orgánico es una opción sostenible para reemplazar parcialmente al floculante químico mencionado.

Mera-Alegría *et al.* (2016) evaluaron el efecto del polvo de semilla de moringa como coagulante natural en la depuración de aguas resultantes del proceso de beneficio de café con turbidez mayor a 2000 Unidades Nefelométricas de turbidez (UNT) y aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 91,5 UNT, utilizando para ello la prueba de jarras a 130 rpm con una temperatura de 21,5 °C con un intervalo de agitación de 30 min para aguas residuales industriales procedentes del procesamiento de café y 15 min para aguas de pelado químico de vegetales. Para determinar la calidad del agua se evaluaron los siguientes parámetros: turbidez, sobrenadantes fecales, cloruro, pH, conductividad, sólidos en suspensión y coliformes totales. Se compararon con sulfato de aluminio usando la misma dosis, los resultados mostraron que usando 4g/600ml de agua remanente del procesamiento del café, el rendimiento fue respectivamente 73.5% y 80.9% con sulfato de aluminio y polvo de semilla de moringa, y utilizando 0,15 g/600 ml de agua de un pelador de verduras se obtuvo un rendimiento del 66,75% con moringa y del 63,5% con sulfato de aluminio. Concluyeron que el polvo de semilla de moringa era más efectivo para mejorar los parámetros identificados en la encuesta.

Ortiz *et al.* (2018) evaluó la eficiencia de remoción de turbiedad y color de aguas residuales municipales, donde se aplicó el método de tratamiento de floculación mediante la adición de almidón de yuca y una mezcla química como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, de forma que se pueda encontrar la dosificación óptima de polímero y floculante para obtener la mejor eficiencia en la reducción de los niveles de turbidez y color. Se trataron un total de 216 muestras de aguas residuales locales: 54 para determinar la dosis óptima de coagulante y 162 fueron mixtas. La mezcla que alcanzó mayor eficiencia fue la de 250 mg/L de Sulfato de aluminio y 750 mg/L de biopolímero. Estas muestras contaban con una turbidez inicial de 24 NTU y un color inicial de 958 CU. Luego de aplicado el tratamiento se logró eliminar el 75% de la turbidez y el 78% del color, obteniendo una turbidez final de 6 NTU y un color

final de 210 CU. El siguiente tratamiento que aplicaron estuvo compuesto por 250 mg/L de hidróxido de calcio y 250 mg L de biopolímero, la muestra en la que se le aplicó tuvo una turbidez inicial de 23,9 NTU y un color inicial de 1430 CU. Esta mezcla redujo el 34,3% de la turbidez y el 67,6% del color, lo que implica una remoción de la turbidez a 15,7 NTU y del color a 453 CU. El ahorro en el uso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para este tipo de agua es de 16,7%, ya que la dosis de reactivo es de 300 mg/L, mientras que, para el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el ahorro de insumos es de 37,5%, ya que la dosis óptima de reactivo es de 400 mg/L.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Choque-Quispe *et al.* (2020), con el objetivo de evaluar la capacidad floculante de tres variedades de Cactáceas *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus* aplicando dosis de 1 %, 2% y 3% en los coagulantes propuestos. Evaluó la actividad floculante y el porcentaje de remoción. Obtuvo porcentajes de remoción de 99.09% para el coagulante hecho a base de San Pedro, 92.42% para Olluquite y 98.98% para la tuna.

Los autores Dávila *et al.* (2018) evaluaron la eficiencia de especies naturales como floculantes para tratamiento mediante la prueba de jarras, determinación de dosis y pH óptimos. Los tratamientos fueron papa, penca, mashua, tara y trigo. Obtuvieron resultados por debajo del estándar para el parámetro turbidez, con una eficiencia de 89.9% para coagulantes de mashua, papa, penca y trigo, lograron una reducción de sólidos disueltos de hasta 89% en tara y un mínimo del 13,5%. Concluyeron que es posible utilizar insumos naturales como coagulantes para clarificar, tratar el agua y hacerla apta para la bebida y el consumo humano.

Lozano (2018) evaluó tres métodos de obtención del componente activo de la tuna con capacidad de flocular material sólido disuelto y suspendido, los cuales fueron licuado, escurrimiento y extracción. Este biopolímero se usó como agente coagulante natural en las aguas extraídas del río Chota en Cajamarca. Se evaluó el efecto del extracto de mucilago de tuna como agente clarificador. Las muestras de agua tenían un nivel inicial de turbidez de 55 UNT, dichas pruebas fueron realizadas en laboratorio. Los indicadores de la calidad de agua fueron conductividad, turbidez, pH, y la dosis del floculante. Este estudio demostró que el mucilago obtenido a partir del método de “extracción” redujo hasta un 82% resultando en 10 UNT como turbidez final. Los métodos de escurrimiento y licuado resultaron ser menos efectivos.

Silva (2017) evaluó el efecto de un floculante obtenido a partir del mucilago de tuna. Su experimento consistió en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en donde los factores fueron los niveles de turbidez inicial los cuales fueron 500 y 100 UNT, y

la concentración de biopolímero los que fueron 30 y 50 ppm. Como bloques se tomó a los floculantes. Este estudio demostró que se obtiene una remoción de turbidez cuando el nivel inicial de UNT es de 1000. Para el análisis estadístico se utilizaron el programa Minitab e Infostat. La turbidez demostró tener una correlación positiva, esto quiere decir que a medida que sus niveles incrementen, su remoción también incrementara, para las dosis de floculante ocurre un caso contrario, su correlación inversa indica que mientras mayor sea su nivel, su efecto es desfavorable o en su defecto pertenezca al intervalo de 30 a 50 ppm, donde se ubica la dosis optima; finalmente se comparó la influencia de los factores, la turbidez incide de manera más significativa. Comparando el poder de reducción de turbidez con los tratamientos de extracción y tomando en cuenta además el análisis del mucilago se concluye que las condiciones favorables para la extracción del mucilago son, relación peca-agua igual a 4, 60 °C temperatura y 2 horas de duración.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Procesos de remoción de sólidos

- a) Sedimentación: Según Morejón (2017) es realizado en una cubeta o colador. Al tener los floculantes mayor densidad que el agua, se asientan por gravimetría, lo que conduce a la formación de lodos en el fondo, lo que reduce significativamente la turbidez y demás características.
- b) Filtración: Según Morejón (2017) esto se hace pasando agua filtrada a través de un filtro de batería para retener las impurezas o turbiedad restantes durante el vertido. El filtro rápido puede funcionar de forma continua durante unas 30 horas.
- c) Coagulación-Floculación: Carrasquero *et al.*, (2017) mencionan que, para eliminar los sólidos con cargas negativas, la suspensión coloidal debe desestabilizarse agregando iones cargados positivamente como Al^3 o Fe^3 . Es en ese momento cuando la repulsión electrostática que existe entre las partículas coloidales se pierde se produce la floculación producida por la atracción generada por las fuerzas de van der Waals. La desestabilización de material coloidal se denomina coagulación y se logra mediante la aplicación de un compuesto químico denominado coagulante. En el momento en que las partículas se desestabilizan, floculan, que es cuando se agrupan y forman flóculos de mayor tamaño, los que pueden sedimentar fácilmente. En esta etapa también se agrega otro agente químico (polímero inorgánico, sintético o natural), al cual se le conoce como floculante.

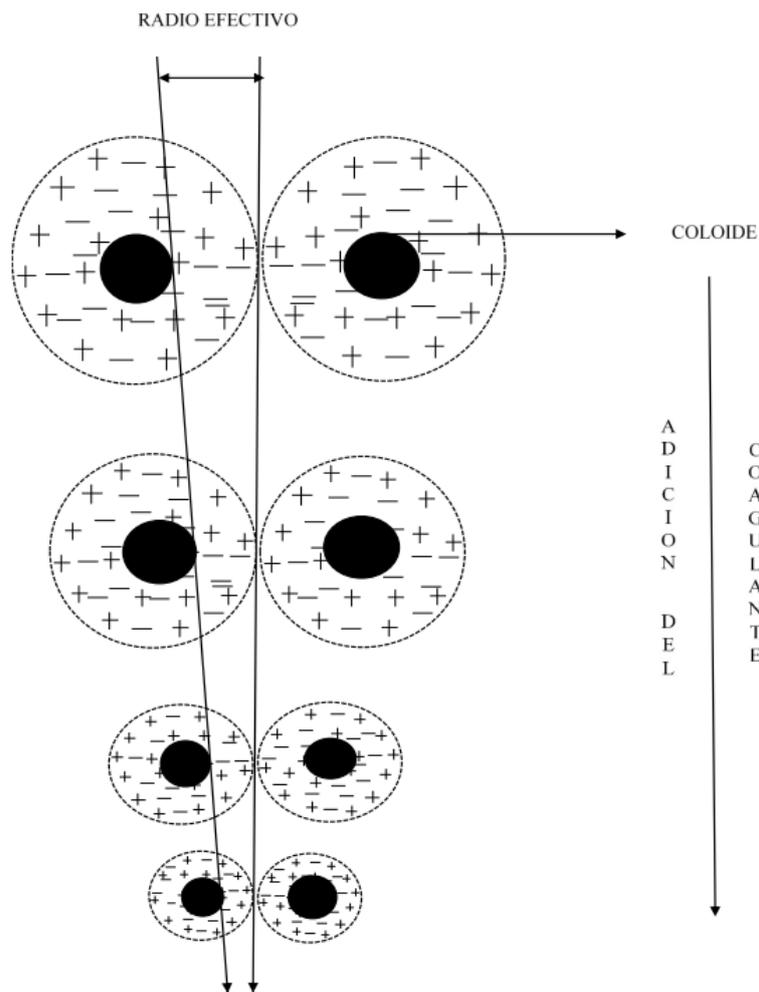


Figura 1. Esquema de la acción de desestabilización de las cargas del material. Fuente: Morejón, 2017.

2.2.2 Parámetros que condicionan el proceso de coagulación-floculación:

Morejón (2017) sostiene que existen factores que son capaces de alterar la eficiencia de los coagulantes, estos autores mencionan lo siguiente:

- Temperatura: La baja temperatura retarda la formación de flóculos.
- pH: Existe un rango de pH, que promueve la acción del coagulante. Por lo general, funcionan mejor en ambientes alcalinos.
- Conductividad: Es indicador de la presencia de iones, el cual puede aumentar o reducir dependiendo de la naturaleza del agente floculante.
- Material sólido en suspensión: El contenido del material sólido existente define el nivel de turbidez existente. Algunos coagulantes difieren su eficiencia dependiendo de la cantidad inicial de este parámetro.

- Presencia de otras sustancias: Existen ciertas sustancias no mencionadas que son capaces de alterar el pH óptimo del floculante.
- Modificadores de pH: Son sustancias químicas que ayudan a controlar el pH del agua, mismo que tiene incidencia en la activación y acción del coagulante.

Tabla 1

Sustancias que modifican el pH

Oxido de calcio	CaO
Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃
Gas carbónico	CO ₂
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄
Ácido clorhídrico	HCL

Fuente: Morejón (2017)

2.2.3 Coagulantes más utilizados

a) Coagulantes químicos

Según Carrasquero *et al.*, (2017) floculantes que son utilizados con mayor frecuencia están compuestos por sales de aluminio o hierro. Por lo general son el sulfato alumínico, el cloruro férrico (II) y el sulfato férrico (II).

Para Rodríguez *et al.* (2017) los floculantes que son más utilizados al tratar aguas turbias son los compuestos de naturaleza química de hierro y aluminio, estos pueden ser cloruros y sulfatos. Refiere que cada compuesto tiene un rango de pH óptimo donde posee una solubilidad mínima y una cantidad máxima de precipitación que se produce, esto puede depender también de las características fisicoquímicas que presente el agua. Excepto el NaAlO₂, este coagulante es ácido que acidifica el pH del agua. Es por esto y por el nivel de fondo que presenten las muestras, que puede requerirse añadir sustancias alcalinas como cal, carbonato de sodio o soda.

Según Mera-Alegría *et al.* (2016) entre los diversos compuestos químicos comúnmente utilizados en la depuración de efluentes residuales se encuentra el Al₂(SO₄)₃, que posee una capacidad floculante y coagulante en términos de eliminación de la turbidez. Pero cabe señalar que el las trazas de aluminio que quedan en el agua potable es perjudicial para la integridad de los consumidores ya que daña severamente el sistema nervioso.

Según Bravo (2015) las sustancias químicas, por lo general, suelen ser los tratamientos más convencionales en la depuración de aguas grises debido a sus características, eficacia,

presupuesto y disposición. Gracias a todo lo mencionado, estos floculantes pueden coagular y flocular; en cuanto se mezclan y disuelven forman compuestos de carácter complejo hidratado. Los más usados suelen ser el aluminato de sodio, sulfato de aluminio, sulfato férrico y cloruro férrico. A pesar de las altas capacidades floculantes de estos compuestos químicos son muy dañinas para la salud y medio ambiente.

Morejón (2017) refiere con el pasar de los tiempos los coagulantes químicos suelen ser los más convencionales para la depuración de aguas no tratadas, tienen la posibilidad de aplicarse como floculante y coagulación, debido a que cuando se disuelven forman complejos químicos hidratados: $Al(H_2O)_6^{3+}$ y $Fe(H_2O)_6^{3+}$

Tabla 2

Coagulantes químicos de naturaleza metálico

Compuestos de aluminio	
Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
Aluminato de sodio	$NaAlO_2$
Alumbre de potasio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$
Alumbre de amonio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$
Policloruro de aluminio	$Al_2(OH)_nCl_{16-n}$
Compuestos de Hierro	
Cloruro férrico	$FeCl_3$
Sulfato férrico	$Fe(SO_4)_3$
Sulfato ferroso	$FeSO_4$
Otros	
Carbonato de magnesio	$MgCO_3$

Fuente: Morejón (2017)

b) Coagulantes naturales

Morejón (2017) considera que pueden tomarse en cuenta ya que poseen una gran capacidad que aún no han sido explotadas. En general, poseen un grado mínimo o inexistente de toxicidad, por lo general suelen ser insumos orgánicos de consumo humano, ricos en proteínas, lípidos y carbohidratos. En este grupo de compuestos, se conoce; que tienen propiedades floculantes. Estos suelen ser varios componentes orgánicos vegetales, se obtienen a partir de los tallos o incluso de las semillas de muchas especies vegetales como la moringa, la tuna, el frejol, el maíz, etc. Son muy efectivos en aguas con poca turbidez, también funcionan bien en aguas industriales.

Bravo (2017) sustenta que los coagulantes naturales son principalmente de especies vegetales, en este grupo de compuestos orgánicos se presentan carbohidratos, taninos y proteínas, los mismos que tienen una capacidad coagulante. Algunas de las especies vegetales estudiadas son semillas de diversas plantas como maíz, nirmali, jatropha curcas, arveja común, cassia falusifolia, entre otras. El material que más atención ha recibido son las semillas de moringa debido a sus principios activos, los cuales son proteínas de carga positiva de diversos pesos moleculares, incluso tener propiedades antibacterianas.

- Opuntia ficus (Tuna)

Morejón (2017) menciona que estudios químicos realizados en especies de tuna, han revelado exceso de humedad, representando del 79% al 94% de su densidad. Además, se encontraron mínimas proporciones a base de calcio y hierro. Ciertos compuestos que ayudan en el desarrollo de la planta son los triterpenos y flavonoides a base de saponinas.

Tabla 3

Composición química de Tuna

Parámetro	Contenido
Energías	78 g
Porción comestible	27 kcal
Proteínas	1.70 g
Grasas	0.30 g
Carbohidratos	5.60 g
Calcio	93 mg
Hierro	1.60 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.06 mg
Niacina	0.03 mg
Acido ascórbico	8 mg

Fuente: Lozano (2018).

Nota: Contenidos en 100 g de tuna fresca. Fuente: De la Rosa y Santana (2001)

Según Lozano (2018) menciona que al aplicarse estos tipos de coagulante se puede reducir el gasto económico, que en ocasiones es lo que suele limitar los procesos de depuración del agua a tratar. Requiere una tasa de tratamiento baja que permite combatir los contaminantes del agua y es similar o más eficaz que el $Al_2(SO_4)_3$. Del mismo modo, se reduce la turbiedad y al mismo tiempo se suprimen propiedades proporcionales a la misma, como el pH y la conductividad eléctrica.

Lozano (2018) refiere que los coagulantes presentes en el mucílago de la tuna se muestra una actividad antibacterial, su posible aplicación data de muchos años adecuándolos a su capacidad para su aceptabilidad.

- Moringa Oleífera

Según Meza-Leones *et al.* (2018) la planta pregerminada de este vegetal contiene un agente proteico de naturaleza catiónica el cual es soluble en el agua, dicho agente tiene la capacidad de coagular lo sólidos presentes aguas con niveles altos de turbidez.

Un árbol de moringa puede producir 2 mil semillas al año. Con esta cantidad es posible tratar 6 mil litros de recurso hídrico. Además, está comprobado que estas semillas tienen una toxicidad muy baja en comparación de los floculantes y/o coagulantes de naturaleza química. Las semillas que están libre de grasas contienen 0.44816 g de proteína/g de semilla de las cuales un 97.95% puede disolverse en agua. Dentro de ese porcentaje de material soluble se encuentran proteínas como albuminas y globulinas de tipo I quienes coagulan el material sólido presente en aguas turbias. La dosis óptima de estas proteínas con una eficiencia de 90% es de 13 mg/L.

2.2.4 Efectos en la salud del uso de coagulantes químicos

Diversos autores han mencionado reiteradas veces lo dañino que puede llegar a ser la aplicación de compuestos químicos en el proceso de coagulación y floculación. A continuación, se presenta la literatura que fundamenta lo mencionado.

Carrasquero *et al.*, (2017) menciona que se debería considerar lo tóxico que puede ser un producto como en el caso de los monómeros acrílicos que pueden causar daños irreversibles del sistema nervioso, estos están presentes en productos comerciales que se aplican como tratamiento.

Meza-Leones *et al.* (2018) refiere que, en los seres humanos, el sulfato de aluminio genera el deterioro cognitivo, la pérdida de memoria, Alzheimer, el cáncer y enfermedades óseas. Además, este químico daña las células del epitelio intestinal encargadas de aislar los intestinos de sustancias dañinas e impide la filtración de una variedad de componentes que están presentes en la dieta diaria.

Acevedo (2019) en su investigación menciona que el elevado contenido de trazas de aluminio en el agua para consumo trae complicaciones a la salud humana, lo que requiere que se desarrollen coagulantes opcionales ambientalmente aceptables que puedan reemplazarlo.

Bravo (2017) mientras mencionaba los tratamientos químicos más utilizados hace hincapié que, aunque estas sales químicas son altamente volátiles, son dañinas para la salud y el medio que nos rodea.

2.2.5 Impacto ambiental

Bravo (2017) menciona que la literatura refiere a varios procesos de depuración de aguas grises como la floculación, sedimentación, evaporación, adsorción por carbón activado, intercambio iónico y oxidación. El proceso de floculación-coagulación se lleva a cabo mediante iones que desestabilizan los coloides presentes en el agua turbia, luego estas partículas floculan en montones de mayor tamaño para su fácil sedimentación y desinfección. Las partículas suspendidas forman productos, esto genera que este recurso logre propiedades fisicoquímicas y sensoriales adecuados para las necesidades de uso humano de acuerdo con los estándares nacionales de salud pública.

Bravo (2017) sostiene que a diferencia de los coagulantes químicos, los coagulantes naturales son generalmente seguros, ecológicos y no tóxicos. Se ha encontrado que el coagulante natural no solo produce un volumen de lodo mucho más pequeño, hasta cinco veces menos, sino que también tiene un mayor valor nutricional para el lodo. Esto reduce los costos de tratamiento y eliminación de lodos, lo que lo convierte en una opción más sostenible. Los extractos de plantas crudas a menudo están disponibles localmente y, por lo tanto, son una alternativa económica en comparación con los químicos.

2.2.8. Test de jarras

Morejón (2017) sostiene que la estandarización del test de jarras comenzó en la década de los 80's. Su propósito era analizar en laboratorio el grado de remoción de sólidos suspendidos, sólidos disueltos, coloides y otros materiales sólidos, por coagulación, floculación para finalmente sedimentarlos. Además, se investigó mediante una serie de pruebas que determina la cantidad de insumos químicos necesarios para depurar agua sin tratar y el valor adecuado de los parámetros de la calidad del agua resultante. Existen factores que determinan las condiciones favorables incluyen:

- Un cambio de la temperatura del agua en plena ejecución de la prueba, que puede causar corrientes de convección y, por lo tanto, afectar la precipitación natural del algodón.
- El intercambio de gases produce la formación de burbujas a causa de la agitación, cambio en el nivel de la temperatura o reacción química, hace que las burbujas floten.

Lozano (2018) refirió que la el test de jarras es una técnica a nivel de laboratorio convencional para determinar las condiciones óptimas. Este procedimiento corrige los cambios en la coagulación o la concentración de coagulante, alterando las tasas de mezcla a escalas mínimas, para predecir el rendimiento de las operaciones de procesamiento a gran escala. El recipiente de prueba produce condiciones similares a los procesos de floculación y coagulación para promover la reducción de partículas coloidales suspendidas y materia orgánica que provocan la aparición de color y turbidez.

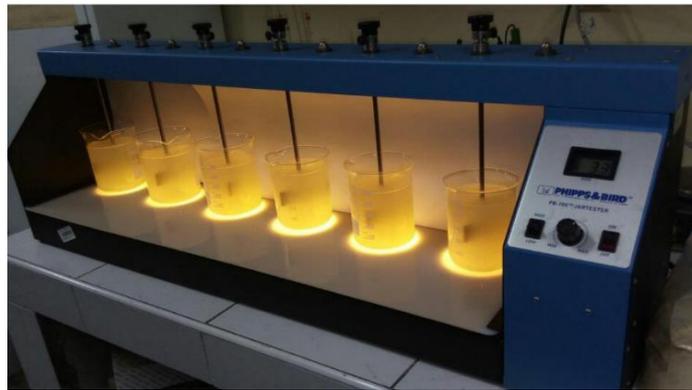


Figura 2. Equipo de test de jarras. **Fuente:** Silva (2017).

2.2.9 Normas legales

2.2.9.1 Constitución política del Perú

Esta carta magna fue promulgada un 29 de diciembre del año 1993, sobre esta se direcciona el derecho y la justicia en el país.

Dentro de sus innumerables especificaciones legales, describe la preocupación del estado peruano con respecto al medio que nos rodea.

El capítulo 1 del título 1, en su segundo artículo, y el inciso 22 de este último sostiene que todo ciudadano posee el derecho a la tranquilidad, a la paz, al descanso, así como a gozar de un ambiente sano y equilibrado para el desarrollo de su vida. (Constitución Política del Perú, 1993)

El capítulo II del título II, en su artículo 67° menciona que el estado gestiona la política nacional del ambiente y promueve la sostenibilidad en el uso de los recursos naturales. (Constitución Política del Perú, 1993)

2.2.9.2 Ley general del ambiente N.º 28611

Aprobado por el 15 de octubre del 2005. Su artículo noveno refiere que aquel que cause deterioro al medio ambiente y a sus está obligado a adoptar medidas de rehabilitación,

compensación y restauración dependiendo del daño que se haya causado. (Ley General del Ambiente, 2005).

2.2.9.3 Estándares nacionales de calidad ambiental para agua

Aprobado con el D. S. N.º 004-2017-MINAM, el 07 de junio del 2017 (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, 2017).

El ECA para agua es de carácter obligatorio en la elaboración y seguimiento de los IGA, siendo aplicables a los parámetros que se asocian a las actividades productoras, extractoras y de servicios.

Tabla 4*Estandar de Calidad Ambiental de agua*

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	0.5	1.7	1.7
Cianuro total	mg/L	0.07	**	**
Cianuro libre	mg/L	**	0.2	0.2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(uS/cm)	1500	1600	**
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de oxígeno (DQO5)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0.003	**	**
Fluoruros	mg/L	1.5	**	**
Fosforo Total	mg/L	0.1	0.15	0.15
Materiales flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (c)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1.5	1.5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 - 8.5	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
Solidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1000
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Fuente: D.S. 004– 2017- MINAM**Nota 1:** Parametros Fisicoquimicos de Categoría 1 y subcategoría A.**Nota 2:** ** en la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.**Nota 3:** Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales.

2.2.9.4 Decreto supremo N.º 031-2010-SA “Reglamento de la calidad del agua para consumo”

Esta base legal proporciona normas sobre el cómo gestionar la calidad del agua destinadas al consumo humano, con el fin de asegurar, prevenir peligros para la salud, proteger y no empeorar la salud y la calidad de vida de la población. (D. S. N.º 031-2010-SA)

Tabla 5

Limites Maximos Permisibles de agua para consumo

Parámetros	Unidad de Medida	Límite máximo Permissible
Olor	---	Aceptable
Sabor	---	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	µmho/cm	1500
Solidos Totales Disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg/Cl L	250
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	500
Amoniaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Manganeso	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2.0
Zinc	Mg Zn/L	3.0
Sodio	mg Na/L	200

Nota 1: UCV = Unidad de color verdadero

Nota 2: UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

2.2.9.5 Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales”

Este protocolo estandariza un procedimiento y criterio especializado, que se rige a nivel nacional; para el desarrollo de monitoreos de la calidad del recurso hídrico marino-costeros

y continentales dentro del territorio peruano. Esto en contexto con la planificación sostenible del recurso hídrico del territorio nacional que basado en las normas ambientales permite su uso. (R. J. N.º 010-2016-ANA)

2.2.9.6 Resolución directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA “Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano”

El presente protocolo estandariza un procedimiento técnico, materiales y equipos que se utilizan en actividades de muestreo, conservación, preservación, recepción, almacenamiento, transporte y recepción para la evaluación de muestras de agua destinadas al consumo. De obligatorio cumplimiento en el ámbito nacional para la dirección general de salud. (R. D N.º 160-2015/DIGESA/SA)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1 Turbidez

Según Silva (2017) la turbidez se produce a causa de la presencia de material sólido suspendido y disuelto que varían en dimensión desde partículas gruesas hasta estados coloidales. La existencia de estos sólidos hace que la luz se disperse y absorba, creando una apariencia opaca que es estéticamente indeseable y potencialmente peligrosa.

2.3.2 Equipo de test de jarras

Acevedo (2019) nos refiere que un equipo de test de jarras posee 6 paletas para remover el contenido de seis vasos de precipitado, por lo general de 2 litros, o alternativamente 1 litro. Debe evitarse el uso de recipientes más pequeños, ya que es difícil lograr precisión al determinar pequeñas cantidades de coagulante. Uno de los contenedores es el control, debido a que las condiciones de operación pueden diferir entre los otros cinco. Cuenta con contador de revoluciones (RPM) que permite un controlar de manera uniforme la velocidad de agitación en todos los recipientes.

2.3.3 Coagulación

Carrasquero *et al.*, (2017) menciona que la desestabilización de material coloidal se denomina coagulación y se logra mediante la aplicación de un compuesto químico denominado coagulante.

El objetivo que tiene este proceso es el de eliminar las partículas existentes lo que facilita su posterior aglomeración.

2.3.4 Flocculación

Carrasquero *et al.*, (2017) nos dice que este proceso sucede cuando la repulsión electrostática que existe entre las partículas coloidales se pierde. Es en este momento en que se produce la flocculación debido a la atracción generada por las fuerzas de van der Waals.

Este proceso es posterior a la coagulación y su objetivo es el de facilitar el lento mezclado al contacto entre las partículas disueltas.

2.3.5 Coagulantes - flocculantes

Morejón (2017) refiere que un coagulante es toda aquella sustancia que tiene la propiedad de desestabilizar las cargas negativas de la materia coloidal mediante la eliminación de las capas dobles eléctricas que las rodean, esto se debe también a la formación de micronúcleos. También menciona que una sustancia flocculante se encarga de aglomerar todo el material particulado que ya ha sido desestabilizado anteriormente en flóculos microscópicos que más tarde serían aglomeraciones de mayor tamaño fáciles de sedimentar.

2.3.6 Agitador mecánico

Es un equipo que cuenta con una base metálica el cual posee un motor que revoluciona de modo que gira un eje el cual cuenta con unas paletas metálicas que facilita la homogenización de muestras. Usualmente suele utilizarse en análisis de textura de suelos. Este equipo cuenta con funciones similares a las de equipo del test de jarras, lo que permite su uso eficiente en estudios como el que se presenta.

2.3.7 Sólidos totales disueltos

Morejón (2017) define a los sólidos como todo aquel material residual producto de procesos de evaporación y secado de muestras de agua a cierta temperatura. Los disueltos son aquellos que por su estructura y composición están diluidas en el medio acuoso.

2.3.8 pH

Meza-Leones *et al.*, (2018) define el pH como el logaritmo negativo de la actividad del ion hidronio en un medio acuoso. El valor del pH es de suma relevancia en la mayoría de procesos que involucra la potabilización de agua como la desinfección, coagulación y ablandamiento.

2.3.9 Conductividad

Rodríguez *et al.*, (2017) refiere que este parámetro es la propiedad de una sustancia acuosa que le permite conducir la energía eléctrica. La química del agua pura menciona que esta posee niveles bajos de conductividad. Lo cual es teórico porque el agua pura es muy complicada de conseguir.

2.3.10 Temperatura

Acevedo (2019) menciona que este parámetro es uno de los más importantes en el agua, pues esto puede influir en todos los procesos que se realizan dentro de este medio, uno de estos procesos es la coagulación y floculación, por lo que mantener un nivel adecuado es esencial en los procesos mencionados.

2.3.11 Muestra de agua simple o puntual

Esta muestra de agua es también denominada discreta, la cual consiste en la toma de un volumen de agua en un punto o lugar ya determinado para su posterior análisis individual. Esto se debe a que la composición de la muestra es representativa de un espacio de tiempo o un volumen más grande. (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1 Hipótesis general

El tratamiento de naturaleza mixta hecho a base de almidón de yuca más sulfato de aluminio resulta ser más sostenible e influye de mejor manera en la calidad del agua para consumo.

2.4.2 Hipótesis específicas

- El tratamiento que mejor influencia tiene en el parámetro de sólidos totales disueltos es el sulfato de aluminio.
- El floculante de sulfato de aluminio tendrá un mayor porcentaje de remoción de la turbidez.
- El tratamiento de naturaleza mixta resulta ser más ecoeficiente con la calidad del agua y sostenible económicamente.

Tabla 6

2.5. Operacionalización de variable

Titulo: EFECTO DE FLOCULANTES ALTERNATIVOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE AGUA DE POTENCIAL CONSUMO EN SANTA MARÍA, HUAURA

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA
FLOCULANTES (X)	Son polímeros de peso molecular elevado solubles en agua formados por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas largas que al adicionarse en muestras de agua con niveles altos de turbidez permiten desestabilizar las cargas para luego formar flóculos y finalmente sedimentarlas. (Silva,2017)	Sulfato de aluminio	40 mg/L	Muestra comercial
		Mucilago de tuna en polvo	40 mg/L	Extracción del clarificante por operaciones unitarias
		Mucilago de tuna en trozos	3 unidades	Extracción del clarificante por operaciones unitarias
		Semilla de moringa en polvo	800 mg/L	Extracción del clarificante por operaciones unitarias
		Floculante mixto a partir de la mezcla almidón de yuca/ sulfato de aluminio	750 mg/L 200 mg	Extracción del almidón de yuca por procesos unitarios Muestra comercial
CALIDAD DE AGUA (Y)	Se mide con la diferencia de los niveles iniciales y finales de UNT presentes en el agua en relación a la calidad del agua resultado del tratamiento y a su evaluación económica.	Parámetros de campo	pH (unidades de pH)	- Equipo medidor Multiparámetros
			Temperatura (°C)	- Ficha de muestreo
			Sólidos totales Disueltos (mg/l)	- Cuadro comparativo
			Conductividad eléctrica (µmho/cm)	- Excel / Minitab 19
			Turbidez (UNT)	- Comparación con la norma D. S. 004-2017-MINAM y D. S. 031-2010-SA
			Remoción de la turbidez	Porcentaje de remoción de la turbidez (%)
Evaluación económica	Costo por floculante (S./.)	-Grafica costo - %de remoción		

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Gestión del experimento

3.1.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación fue realizado en territorio perteneciente al distrito de Santa María, teniendo por locaciones el centro poblado Los Pinos III etapa la cual tiene una distribución de agua por medio de tanques cisternas. Además, también se realizará en la zona campiñera llamada Sevilla la cual cuenta con un sistema sanitario de distribución de agua por tuberías. Por otro lado, tenemos el agua del río Huaura como bloque adicional.

La parte experimental se llevó en los laboratorios de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, el cual está ubicado en el distrito de Huacho. Las locaciones mencionadas son pertenecientes a la Provincia de Huaura y región Lima.

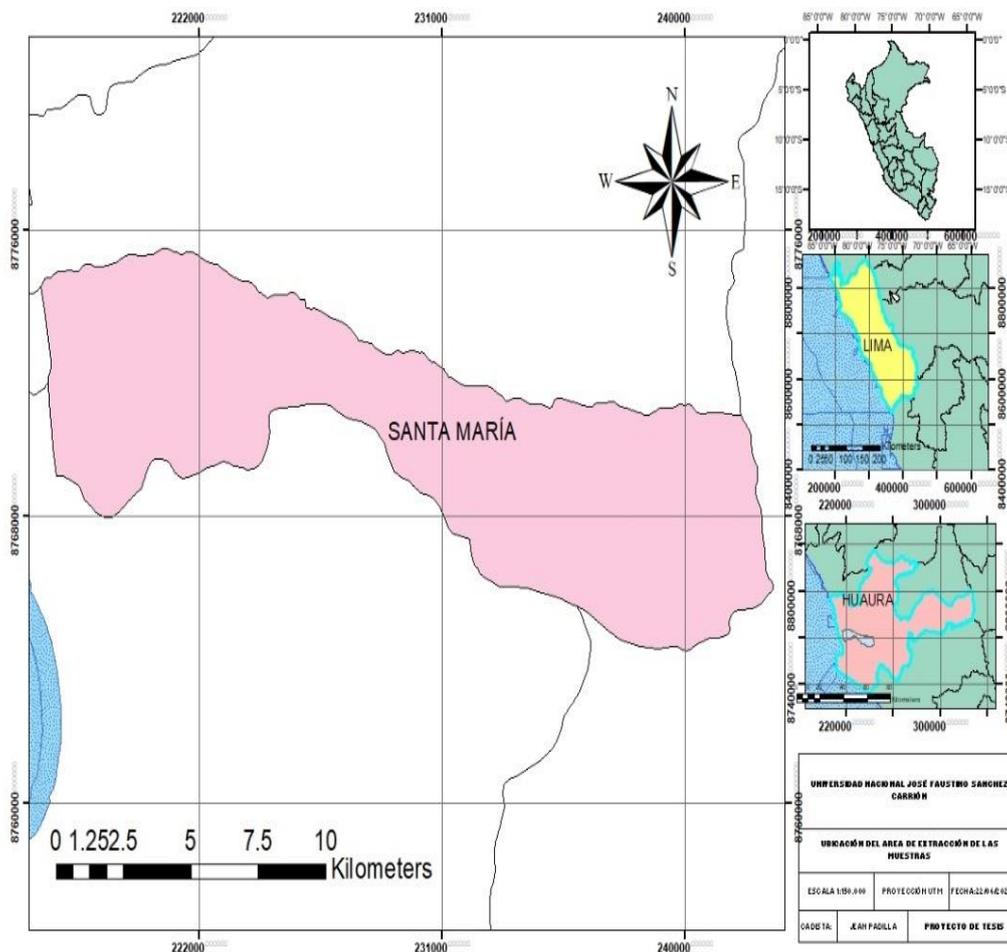


Figura 3. Ubicación del área de estudio a nivel de campo

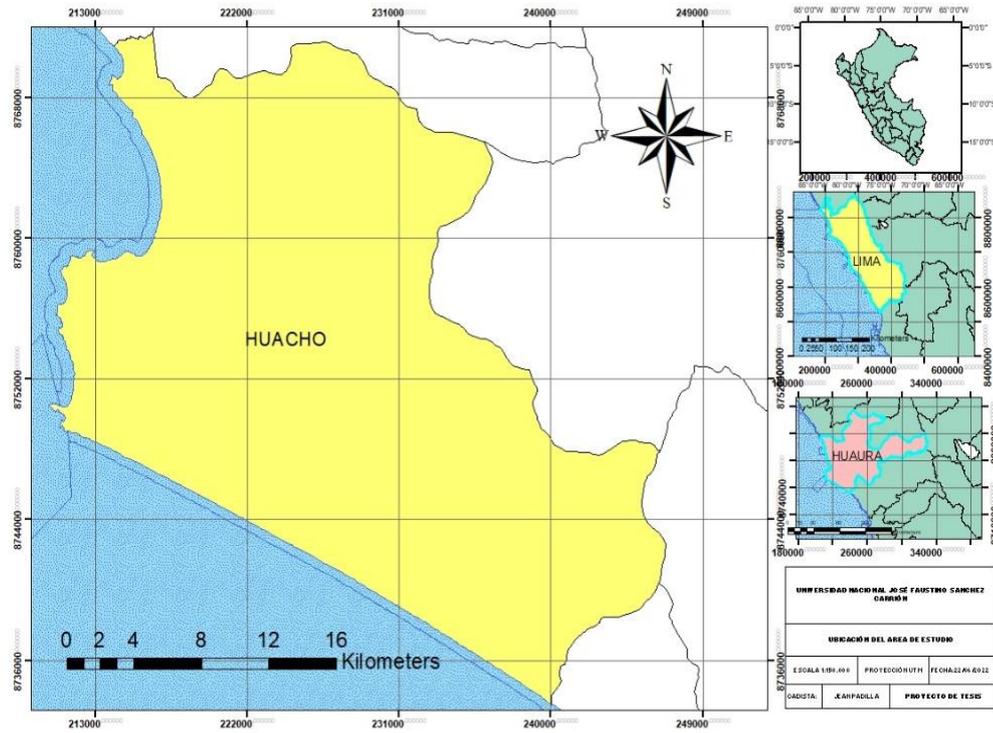


Figura 4. Ubicación del área de estudio a nivel de laboratorio

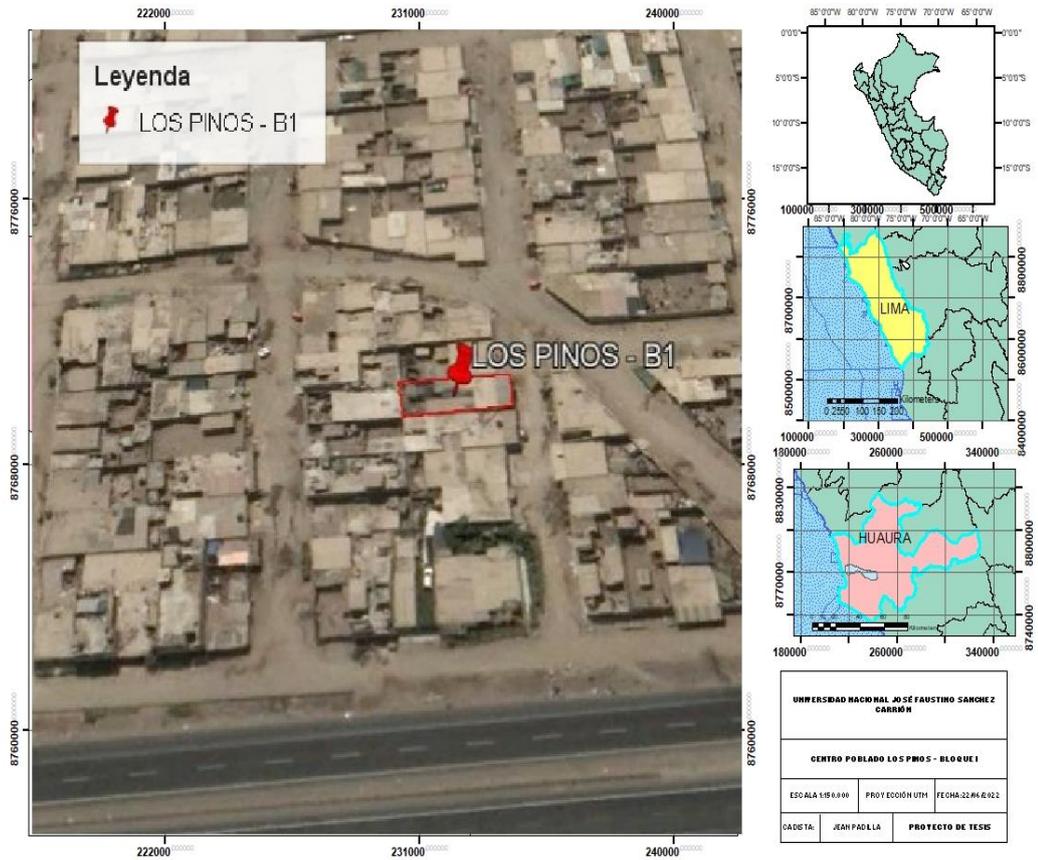


Figura 5. Ubicación del área de estudio, Bloque I – Los Pinos Santa María

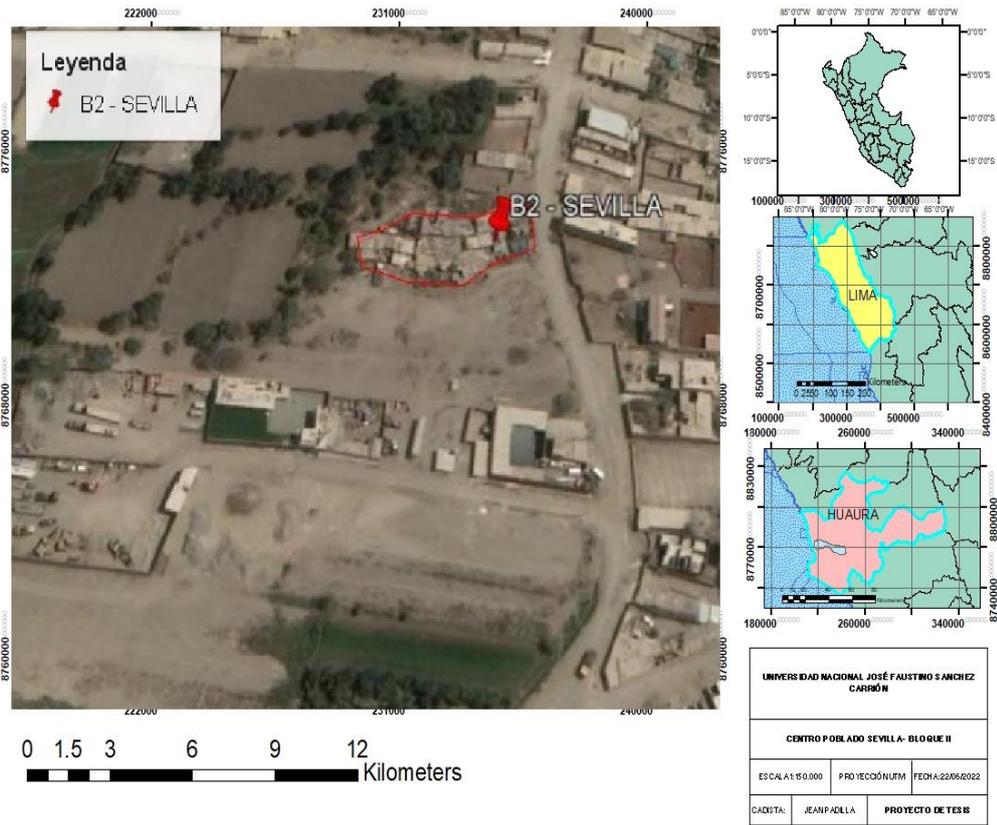


Figura 6. Ubicación del área de estudio, Bloque II - Sevilla Santa María

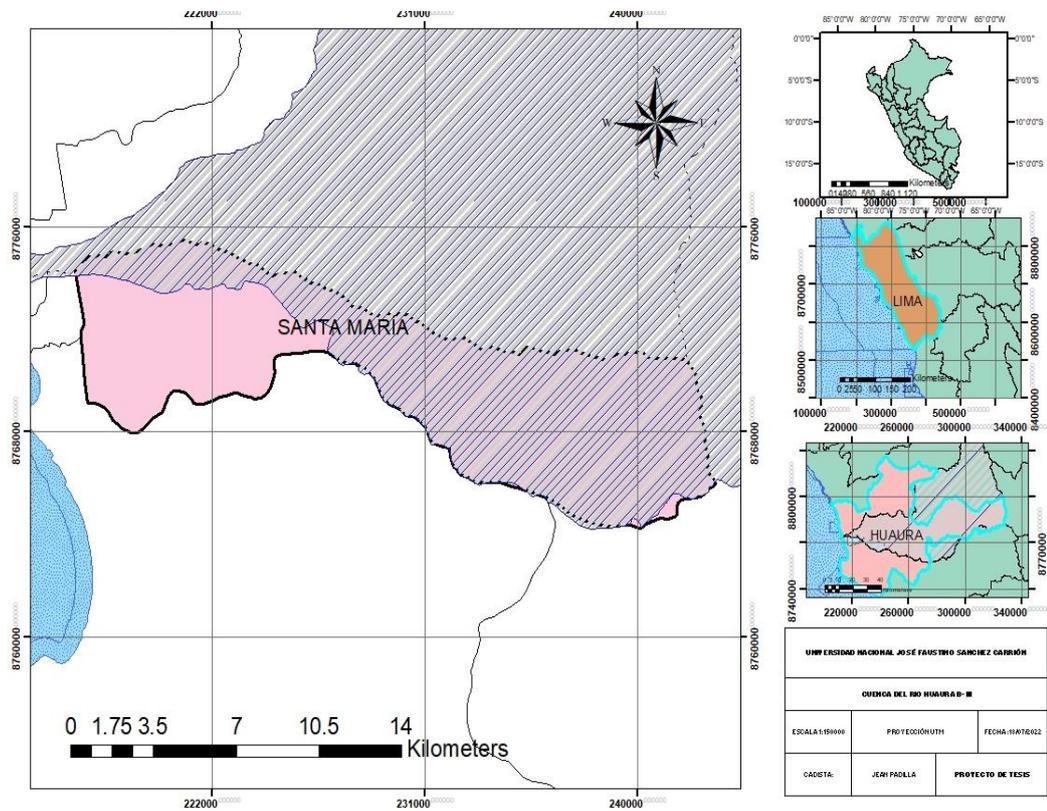


Figura 7. Ubicación del área de estudio, Bloque III – rio Huaura

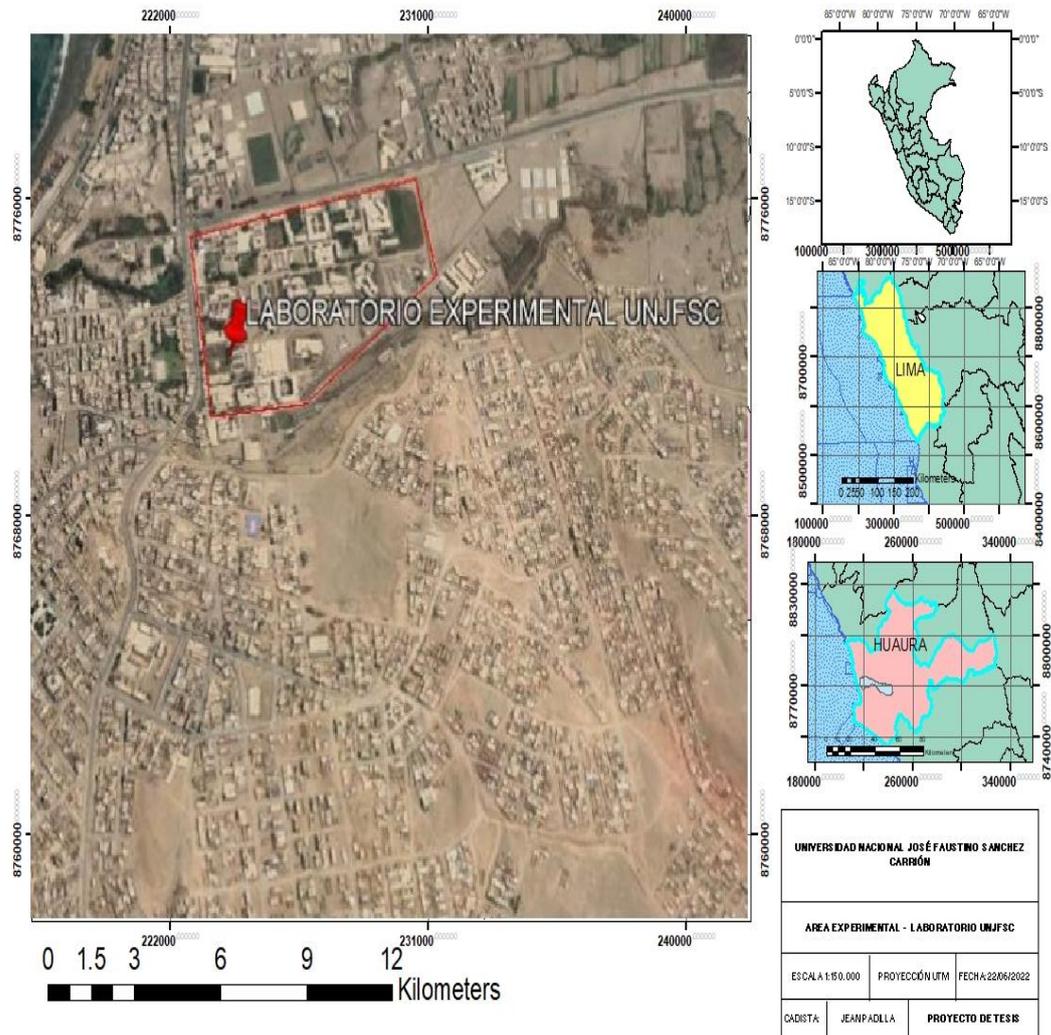


Figura 8. Ubicación del área de estudio a nivel de laboratorio – UNJFSC Huacho

Tabla 7*Coordenadas UTM de bloques o puntos de muestreo*

Puntos de muestreo	Este (x)	Norte (y)	Zona	Descripción
B-I	216735	8769299	18 L	Centro Poblado Los Pinos
B-II	217210	8772777	18 L	Sevilla
B-III	216301	8774704	18 L	Rio Huaura
B-IV	-	-	-	Control

3.1.2 Características del área experimental**3.1.2.1 Santa María**

El distrito campesino fue escenario de la realización de la investigación a nivel de campo, pues es aquí donde se encuentran los domicilios de donde se extrajeron las muestras que posteriormente fueron analizadas.

Poblaciones emergentes cuya calidad de agua posee características visiblemente inadecuadas fueron objeto de estudio para esta investigación.

El sector conocido como “Sevilla” cuenta con una distribución convencional de agua por tuberías mientras que el Centro Poblado Los Pinos III etapa en la actualidad obtiene este invaluable recurso de camiones cisternas que los distribuyen de domicilio en domicilio debido a que no cuentan con saneamiento físico legal por estar ubicado en una zona considerada como arqueológica.

3.1.2.2 Huacho

La capital de la región Lima, donde se encuentra la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, fue escenario de la realización de la investigación a nivel de laboratorio.

3.1.2.3 Rio Huaura

Este rio que atraviesa el distrito campesino, a lo largo de su trayectoria acoge un sin número de comunidades y familias quienes aprovechan este recurso para dedicarse a la agricultura y en muchos casos es usado para el consumo de sus integrantes. Por lo tanto, este estudio evalúa la calidad inicial de sus aguas, tratarlas y comparar la calidad final con la normativa ambiental nacional.

3.1.3 Tratamientos

3.1.3.1 Obtención del mucilago de tuna en polvo

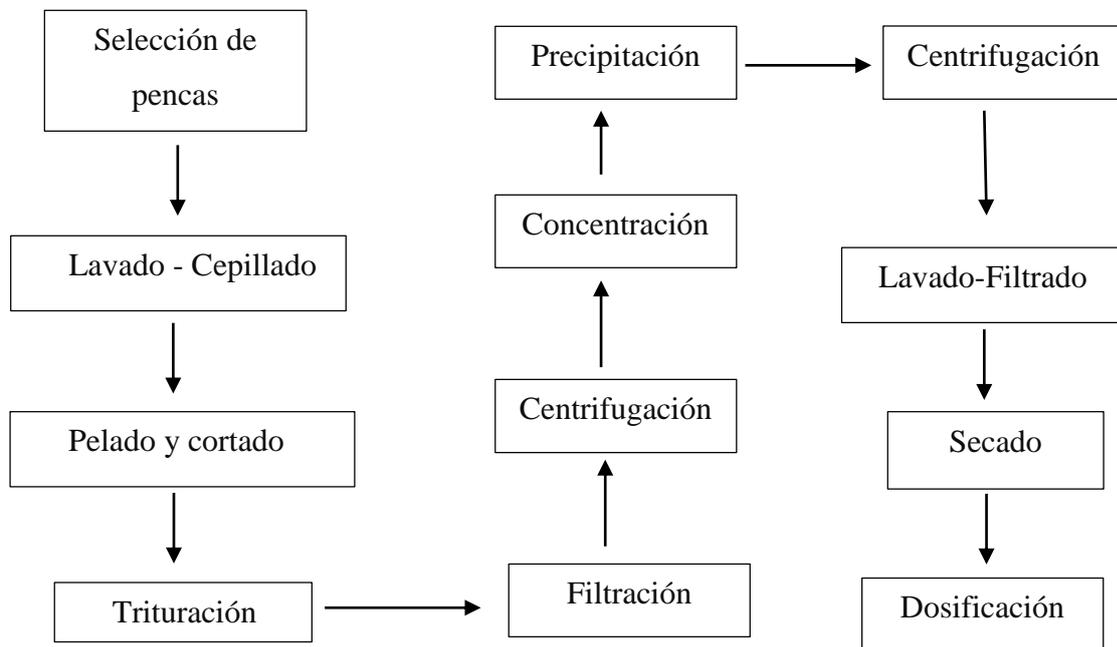


Figura 9. Proceso de obtención de mucilago de Tuna

A continuación, se visualiza el procedimiento que se siguió para obtener el mucilago de tuna adaptado de Silva, 2017.

- Selección de Pencas: Se seleccionaron pencas de dos a tres años de edad, estas fueron recolectadas en horario matutino ya que es esencial para la conservación de ácidos de este tipo de planta. Las pencas se obtuvieron de un terreno baldío ubicado en la zona de Amay de Huacho, lo vecinos refirieron que estas plantas empezaron a brotar unos 3 años atrás aproximadamente y que no había problema alguno en poderlos extraer.



Figura 10. Recolección de pencas



Figura 11. Pencas de tuna recolectadas

- Lavado: Las pencas fueron lavadas de manera manual con agua limpia.



Figura 12. Lavado manual de pencas de tuna

- Pelado y cortado: Después de remover todas las espinas, con ayuda de un cuchillo o bisturí se eliminó toda la piel, teniendo cuidado de conservar una elevada cantidad parénquima y colénquima (almacén del mayor porcentaje de mucilago). Se corta en cubos para facilitar el siguiente paso.



Figura 13. Pelado de penca



Figura 14. Cortado en cubos

- Trituración: Se mezcla la penca que ha sido pelada previamente con agua destilada para luego ser triturada en una licuadora común añadiéndole agua desionizada a una proporción 1/2 (peso/volumen) aproximadamente.



Figura 15. Trituración mediante licuado simple

- Filtración: La finalidad de este proceso es separar el líquido mucilaginoso. Con ayuda de una tela especial o papel filtro se separó las fibras y pulpa de la penca.

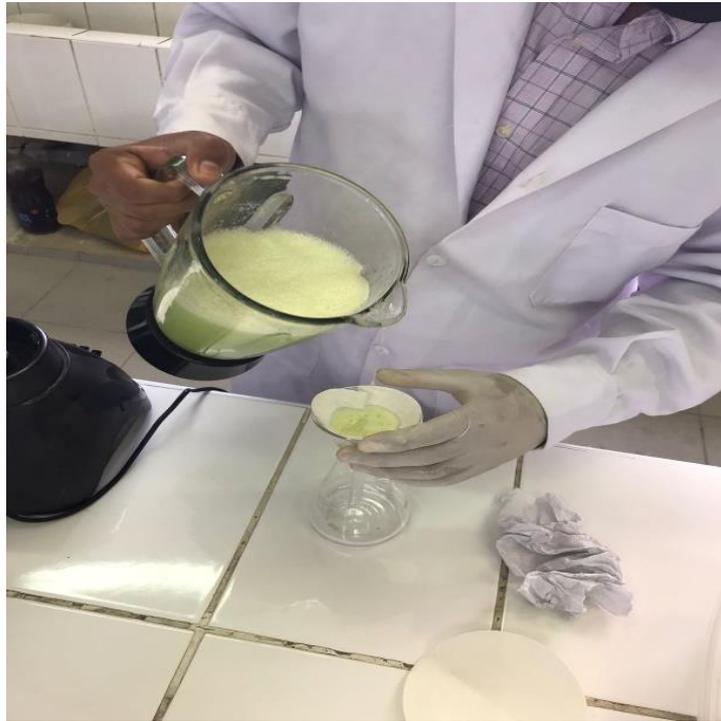


Figura 16. Primer filtrado



Figura 17. Producto del primer filtrado

- Centrifugación: Con ayuda de una centrifugadora a 2500 rpm durante 15 minutos pudimos separar mermas de partículas diminutas que pasaron el primer filtrado.



Figura 18. Centrifugación



Figura 19. Producto del primer centrifugado

- Precipitación: El sedimento del proceso anterior se desechó y a la suspensión líquida se le adicionó etano en alcohol en relación 1/4 (volumen/volumen) aproximadamente y se dejó reposar por un periodo de 24 horas en refrigeración.



Figura 20. Solución de mucilago y etanol



Figura 21. Mucilago precipitado

- Filtración: Con ayuda de un papel filtro, repetimos el sexto paso.

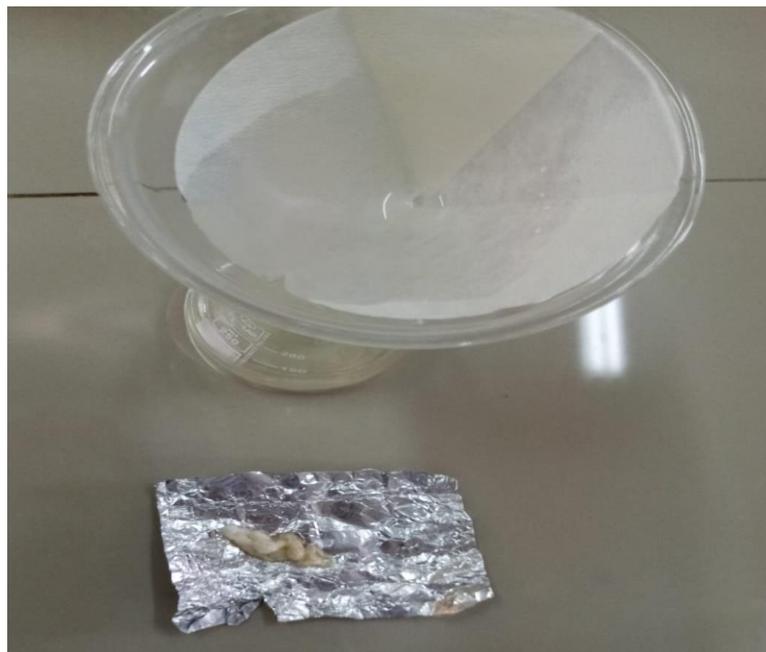


Figura 22. Producto del segundo filtrado

- Secado: Se Secó en horno a 70 °C.



Figura 23. Producto seco de mucilago de tuna

- Pulverizado: Con ayuda de un mortero con pilón se pulverizó completamente.
- Dosificación: Antes de aplicar el tratamiento preparamos una dosis optima, la cual fue 40 mg/L.



Figura 24. Pesada para dosificación de mucilago de tuna en polvo

3.1.3.2 Obtención de Mucilago de Tuna en trozos

El autor propone lo siguiente:

- La selección, pelado y lavado de pencas se hizo de acuerdo a lo establecido en el procedimiento 3.1.4.1.
- Se Cortó el mucilago en trozos de pequeños, se aplicó de manera directa.

3.1.3.3 Obtención del sulfato de aluminio

- Se Compró una muestra comercial en una farmacia local.
- En una balanza analítica se pesó 160 miligramos de sulfato de aluminio tipo B y se aplicó en dosis de 40 mg/L.

3.1.3.4 Obtención de Floculante a base de semilla de Moringa en polvo

Para la extracción del floculante en polvo a base de moringa Oleífera se siguieron los pasos que se describen a continuación.

El procedimiento sigue el orden modificado que fue utilizado por Meza-Leones *et al.* (2018).

- Se Compró 1 kg de semilla de moringa en el mercado local.



Figura 25. Semillas de moringa compradas en el mercado local

- Se peló manualmente con ayuda de un cuchillo.



Figura 26. Pelado de semilla de moringa

- Se trituroó en una licuadora convencional.



Figura 27. Pulverizado

- Tamizamos el polvo obtenido en tamiz de 1 mm aproximadamente.



Figura 28. Tamizado de partículas de 1 mm

- El polvo fino obtenido se someterá a extracción de grasas con ayuda de un mortero y papel filtro. Inicialmente se propuso la extracción sólido-líquido con reactivos, no obstante, la literatura menciona que extraer las grasas con equipo Soxhlet o algún otro

método que involucre reactivos químicos altera la capacidad catiónica que posee las semillas de moringa por lo que se recomienda hacerlo por métodos convencionales o manuales. (Acevedo, 2019)

- Con ayuda de un mortero y papel filtro se extrajo el mayor contenido de aceites posibles con la presión ejercida por el pilón.



Figura 29. Extracción manual de aceites

- Finalmente se dejó secar en estufa por 30 minutos.



Figura 30. Secado en estufa

- Dosificamos y aplicamos a 800 mg/L.

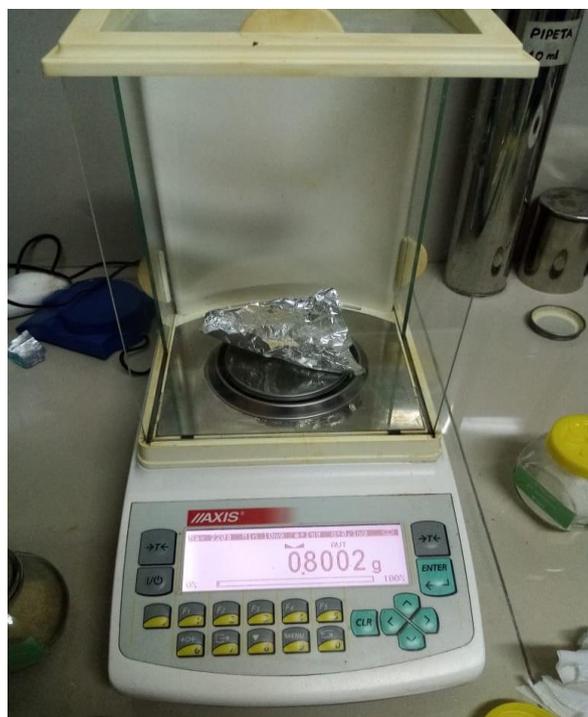


Figura 31. Pesada para dosificación de floculante de semilla de moringa

3.1.3.5 Obtención de floculante mixto (mezcla de almidón de yuca más sulfato de aluminio)

- Obtención del almidón

Para poder obtener el componente activo floculante de naturaleza mixta seguimos el procedimiento descrito en la figura 10.

Este método fue utilizado por Ortiz *et al.* (2018)

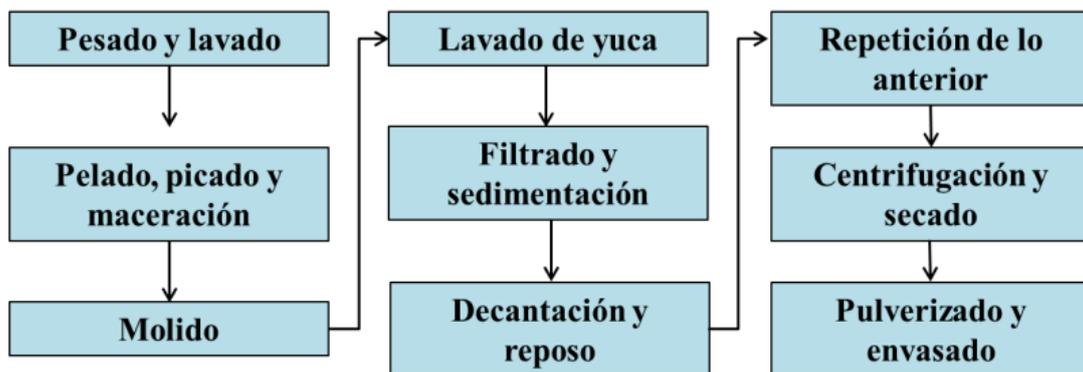


Figura 32. Obtención del almidón. Fuente: Ortiz *et al.* (2018)

- Pesamos y lavamos 1 kg de yuca



Figura 33. Obtención del almidón. Fuente: Ortiz *et al.* (2018)

- Pelamos la piel y cortamos en secciones pequeñas, estas fueron colocadas en un envase de agua a 70 °C (la relación de masas fue 1/6 aproximadamente).



Figura 34. Pelado manual de yuca



Figura 35. Corte de yuca en secciones y sancochado a temperatura constante

- Se trituraron las secciones de tubérculo sancochado en una licuadora convencional hasta lograr una disolución completa.

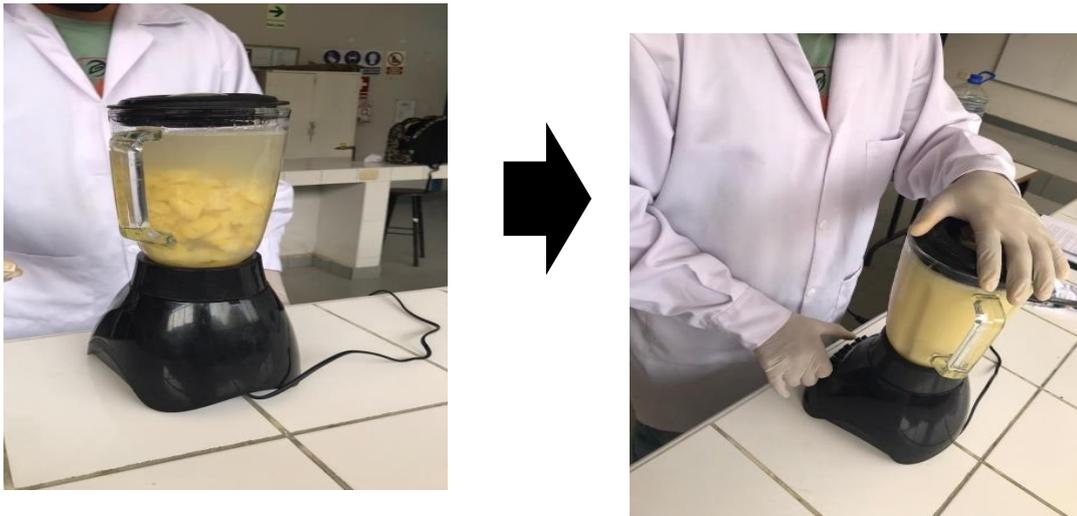


Figura 36. Triturado hasta disolución completa

- El tubérculo triturado se lavó tres veces con el agua que fue utilizada anteriormente, luego se pasó por un tamiz de 1 mm. El material que atravesó la rejilla se dejó reposar durante 3 h (se elimina el material retenido en el tamiz).



Figura 37. Triturado hasta disolución completa

- Después del tiempo de sedimentación, se separó el sobrenadante, y el precipitado resultante se dejó en el refrigerador durante la noche.



Figura 38. Muestra lista para ser refrigerada

- Al día siguiente se repitió el proceso anterior para eliminar el sobrenadante y luego se centrifugó el sedimento a 2500 revoluciones por minuto durante 15 minutos. La mezcla resultante se dejó secar en el interior de una estufa a 40 °C durante 1 día completo.

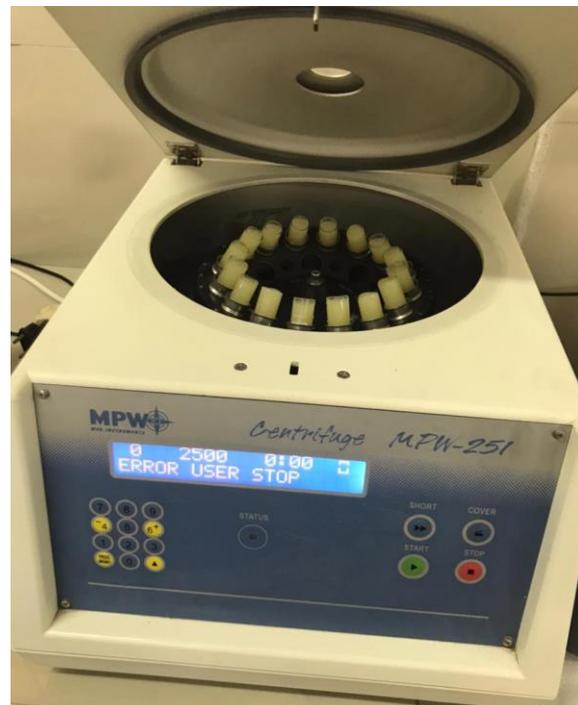


Figura 39. Producto antes del centrifugado



Figura 40. Producto antes del centrifugado



Figura 41. Producto seco de almidón de yuca

- Trituramos hasta obtener un polvo en mortero con pilón.



Figura 42. Pulverización mecánica del almidón

- Finalmente, se envasa en un frasco.
- **Dosis de la mezcla a utilizar en la investigación**

Antes de aplicar el tratamiento establecimos una dosis óptima para la mezcla, según Ortiz *et al.* (2018) la concentración óptima para la mezcla $Al_2(SO_4)_3$ -yuca fue de 300 mg/L y 750 mg/L respectivamente.



Figura 43. Pesada de yuca en polvo



Figura 44. Floculante mixto ya dosificado

3.1.4 Diseño experimental

Para esta investigación se aplicó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), este diseño cuenta con 6 tratamientos, los cuales fueron aplicados en muestras de agua de 4 procedencias diferentes haciendo un total de 24 unidades experimentales (se consideró un control por bloque y tratamiento).

Los bloques son los lugares de procedencia de las muestras y el control. Tenemos por bloque B-I (Centro Poblado Los Pinos), B-II (Sevilla), B-III (Río Huaura) y B-IV (Control).

Los tratamientos que fueron propuestos en el experimento son los floculantes, en este caso fueron 6: mucilago de tuna en polvo, mucilago de tuna en trozos, semilla de moringa en polvo, sulfato de aluminio y sulfato-yuca. Se tomó un testigo al que no se le añadirá ninguna sustancia y un control el cual representó un bloque diferente.

Como variable respuesta se tiene a la calidad del agua tratada, el cual fue medido en función de sus parámetros de campo, remoción de la turbidez y a su evaluación económica.

Tabla 8

Tratamientos y bloques utilizados en el experimento

N.º	Tratamiento	Bloque (punto de muestreo)			
		I	II	III	IV
		Los Pinos	Sevilla	Río Huaura	Control
1	Testigo	1.1	1.2	1.3	1.4
2	Mucilago de tuna en polvo	2.1	2.2	2.3	2.4
3	Mucilago de tuna en trozos	3.1	3.2	3.3	3.4
4	Semilla de moringa en polvo	4.1	4.2	4.3	4.4
5	Sulfato de aluminio	5.1	5.2	5.3	5.4
6	Sulfato de aluminio + almidón de yuca	6.1	6.2	6.3	6.4

Modelo matemático;

$$Y = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} = Observación realizada en el i-ésimo maceta en la repetición j-ésima
- μ = Es la media general
- T_i = Denota el efecto del i-ésimo tratamiento
- β_j = Denota el efecto del j-ésimo bloque; y
- e_{ij} = Denota el efecto aleatorio del error asociado a la observación Y_{ij}

3.1.5 Variables a evaluar

3.1.5.1 Floculantes

- Obtención de los floculantes

Para su obtención y diseño de sus concentraciones optimas se revisó la bibliografía de modo que se pudo establecer un procedimiento técnico y de fácil realización para la población que pueda beneficiarse de este estudio. (Ver sección 3.1.4)

- Aplicación

Los floculantes ya preparados con las dosis correspondientes fueron evaluados en el laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental, en donde se utilizó un homogeneizador que usualmente es utilizado para ensayos texturales, el cual simuló las revoluciones de un equipo de test de jarras.

Para poder evaluar los tratamientos se siguió el siguiente procedimiento:

Se utilizaron agitadores mecánicos. Primero se vertió 500 ml de muestra en los vasos del equipo, posteriormente se le añadió el tratamiento dosificado, se seleccionó la mayor revolución y se agitó durante 15 minutos. Al concluir se midieron los parámetros establecidos y se registraron para el análisis estadístico correspondiente. De esta manera se repitió por cada tratamiento.

3.1.5.2 Calidad del agua resultante

La evaluación de las variables en esta sección fue realizada con ayuda de un equipo multiparámetros.

- Parámetros de campo

Los parámetros in situ se midieron antes y después de la realización del experimento, estos son pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos y la turbidez (ver sección 2.2.4).

- Evaluación económica

Esta variable indica la capacidad económica que los tratamientos tienen para incidir en la calidad del agua que algunos lugares disponen. Haciendo una comparativa grafica podremos saber cuáles son de menor costo y están más al alcance de este sector social.

- Remoción de la turbidez

La medición de esta variable se realizó mediante una diferencia de niveles iniciales y finales de turbidez tomados como porcentajes, estos resultados fueron tratados estadísticamente en un cuadro de ANOVA para un DBCA.

A continuación, se muestra la expresión matemática:

- Remoción: $T_i - T_f$;

- % Remoción = $\frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100$

3.1.6 Conducción del experimento

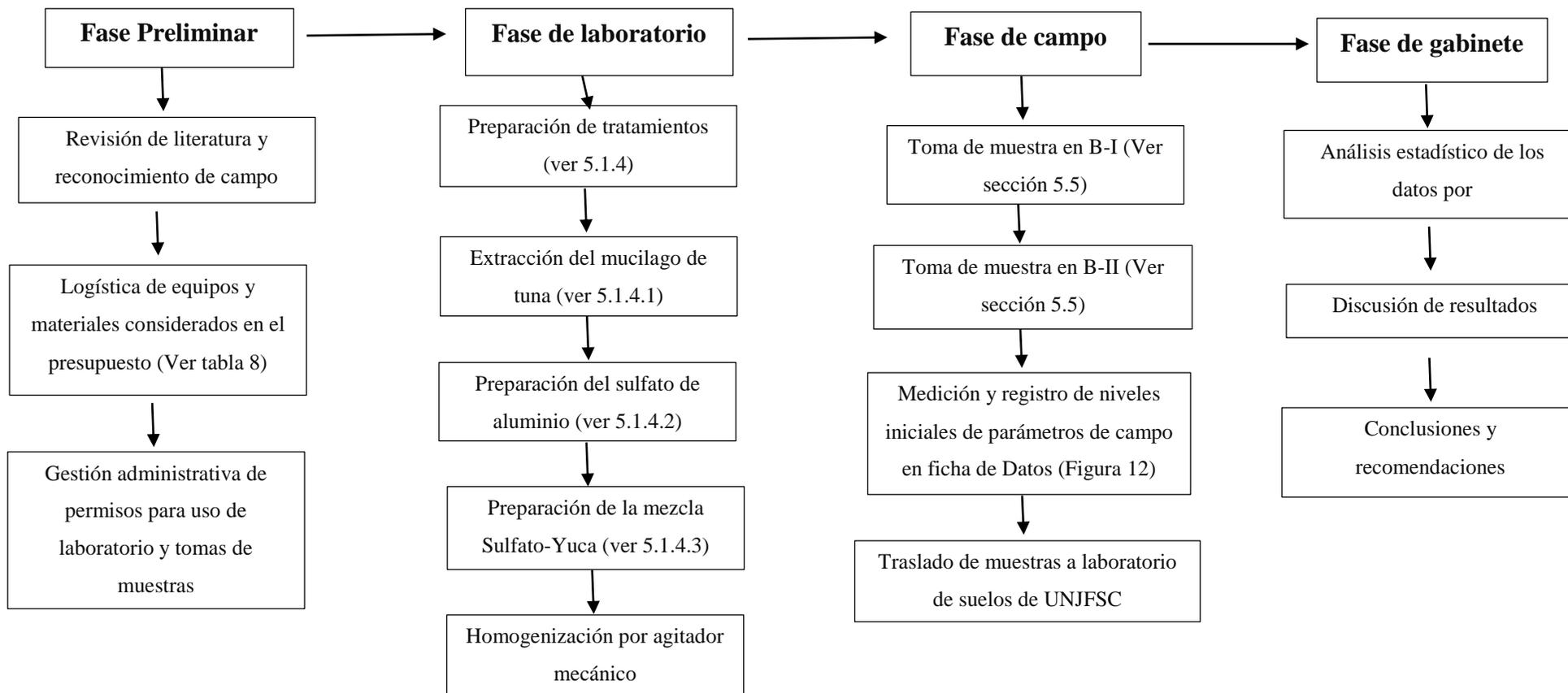


Figura 45. Esquema de la conducción sistemática del experimento

3.1.6.1 Recolección de las muestras

Para realizar la actividad se planificó tomando en cuenta hora y distancia. La toma de muestra se realizó de la siguiente manera.

- Recolección de muestra en Los Pinos o B-I

El punto de monitoreo en mención corresponde a un sector del distrito de santa maría el cual presenta dos sistemas en que los pobladores reciben el vital líquido elemento. Una zona se abastece por un sistema de tuberías mientras que la mayoría aun recibe agua de camiones cisternas.

En este caso el domicilio pertenece a una familia que recibe agua en contenedores convencionales como baldes o cilindros.

Luego de georreferenciar, identificar y preparar todos los materiales necesarios, se seleccionó de manera aleatoria los depósitos de donde se extrajo la muestra del cual con ayuda de una jarra de plástico se fue vertiendo sobre los frascos y posteriormente se colocaba en el cooler para su conservación.

El agua que fue extraída presentaba color evidente.



Figura 46. Estación de monitoreo B-I



Figura 47. Extracción de muestra B-I

- **Recolección de muestra en Sevilla o B-II**

Sevilla pertenece a la llamada “Campiña Huachana”, este lugar se abastece por un sistema de tuberías el cual proviene del río Huaura.

Se ubicó el punto de muestreo en uno de los grifos perteneciente al hogar de un poblador de la zona, desinfectamos con alcohol y dejamos correr el agua inicialmente durante un minuto. Luego se georreferenció e identificó la zona. Después de haber preparado los materiales. Se colocó uno a uno los frascos de vidrio debajo del grifo para luego hermetizarlas y finalmente conservarlas.

Se observó a primera vista que el agua presentaba turbidez elevada.



Figura 48. Estación de monitoreo B-II



Figura 49. Extracción de muestra B-II

- **Recolección de muestra en río Huaura o B-III**

Para poder obtener las muestras de este cuerpo de agua se ubicó el punto de muestreo en un pequeño afluente que tiene espacio en el distrito campesino. Se tuvo que aproximar el punto a una riberita de fácil acceso para luego georreferenciar y posteriormente preparar los materiales.

Se inició colocando un balde plástico de 18 L de capacidad el cual estaba atado por una cuerda en contra de la corriente, inmediatamente después se sumergió un envase de vidrio hasta llenar el 75% de su capacidad. Luego se conservó en el cooler. El agua fue devuelta y se repitió el proceso uno a uno según la necesidad de la investigación.



Figura 50. Estación de monitoreo B-III



Figura 51. Extracción de muestra B-III

- **Preparación de blancos o B-IV**

Para obtener estos blancos, se obtuvo agua destilada la cual luego se vertió en vasos de precipitado de 250 ml los cuales fueron trasladados y permanecieron expuestos durante todo el procedimiento de obtención de muestras de los bloques anteriores como se aprecia en la imagen.



Figura 52. B-IV o blancos

3.1.6.2 Ensayos de jarras por agitación mecánica

La parte experimental se realizó en los laboratorios de investigación de agua y suelo de la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental. Esta unidad proporcionó los agitadores mecánicos de marca Forney, modelo LLC y materiales de vidrio necesarios para llevar a cabo el ensayo.

Iniciamos ordenando nuestra mesa de trabajo con el arreglo estadístico mencionado anteriormente. Vertemos en vasos de precipitado una porción de las muestras obtenidas en campo.



Figura 53. Mesa de trabajo

Una vez habiendo ordenado la mesa de trabajo se realizó la calibración del medidor multiparámetros de marca HANNA, modelo HI98130 con una solución buffer. Una vez calibrado procedemos a medir uno por uno cada unidad experimental en los parámetros de sólidos totales disueltos, pH, conductividad y temperatura. De igual manera se procedió a medir el nivel de turbidez inicial con ayuda de un turbidímetro de marca HACH, modelo 2100Q. Cabe recalcar que en cada medición la muestra fue homogeneizada con una bagueta para que la medición sea lo más real posible. Todos los datos fueron anotados en la cadena de custodia.



Figura 54. Calibración de multiparámetros con solución Buffer



Figura 55. Medición inicial de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura



Figura 56. Medición inicial de turbidez

Una vez obtenidos los niveles iniciales se procedió a separar las mesas de trabajo con los homogeneizadores mecánicos por tratamiento. Se vertió la muestra por bloque uno a uno en el recipiente metálico adicionándole el tratamiento y se homogenizó a su máxima revolución por 15 minutos, tiempo prudente para permitir que se dé el proceso de coagulación-floculación. Una vez homogenizadas las muestras se dejan sedimentar por 5 minutos para luego medir los parámetros nuevamente.



Figura 57. Mesa de trabajo por tratamiento y bloques

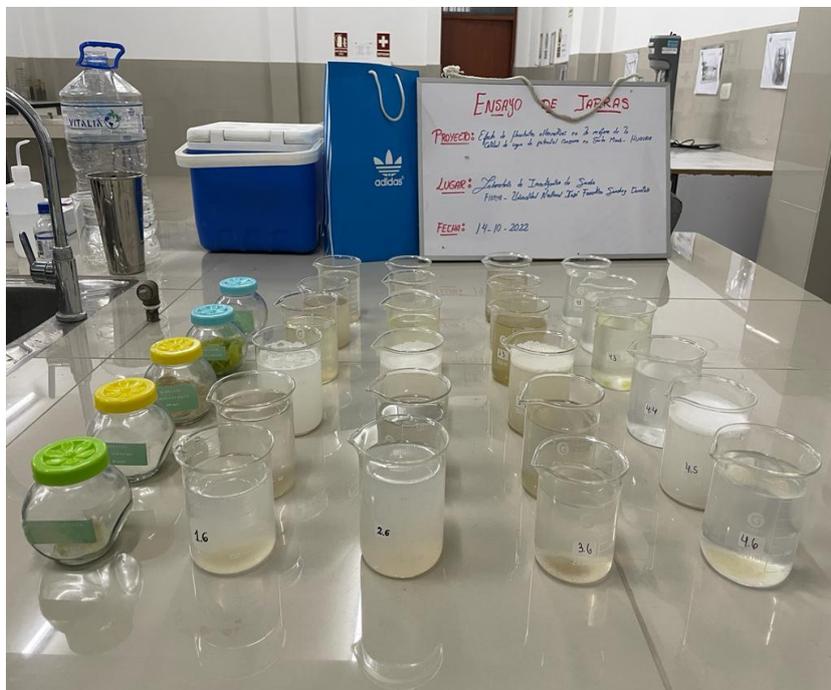


Figura 58. Muestras post agitación

Al culminar del ensayo de jarras y habiendo obtenido ya los resultados, procedimos a dejar las instalaciones tal cual fueron encontradas.

3.2. Técnicas para el procesamiento de la información

La evaluación estadística fue posible ya que se tomó en cuenta todos los resultados obtenidos de la medición de los parámetros en las muestras de agua una vez aplicado el tratamiento., del mismo modo, estos datos se analizaron con el ANOVA , prueba de DSH de Tukey mediante el programa Excel versión 2019 y Minitab 19 los cuales determinaron si existían diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

Tabla 9

Cuadro de anova para un diseño de bloques completos al azar para el porcentaje de remoción de turbidez

Fuente variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F calculado
Tratamientos	2	SC	$\frac{SC}{5}$	$\frac{CM (trat)}{CM (error)}$
Bloque	4		$\frac{SC}{3}$	$\frac{CM (bloq)}{CM (error)}$
Error	8	SC	$\frac{SC}{15}$	
Total	14	SC		

Nota: Ho= $\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4$; Hi= Algún tratamiento es diferente; Nivel de confianza= 0.05

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Análisis de parámetros complementarios de la calidad de agua

Para poder analizar estos parámetros, se realizó un análisis de la varianza tomando en cuenta todas las muestras, para posteriormente realizar una prueba de Tukey para cada una de las variables evaluadas, siempre y cuando se haya observado diferencias significativas.

En la Tabla 10, de acuerdo al análisis de varianza, se observa que se ha presentado diferencias significativas entre los tratamientos para pH, sólidos totales disueltos y temperatura.

Tabla 10

Análisis de la varianza de los parámetros complementario de la calidad de agua

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados medios (CM)			
		pH (%)	Conductividad eléctrica (%)	Sólidos totales disueltos (%)	Temperatura (%)
Bloque	3	143.25**	69.86	212.2	2.802*
Tratamiento	5	3172.1**	160.35	2486.6**	5.02**
Error	15	-	-	-	-
Total	23	-	-	-	-

Nota 1: * representa un p valor < 0.05, lo cual indica que existe diferencia significativa

Nota 2: ** representa un p valor < 0.01, lo cual indica que existe diferencia altamente significativa

4.1.1 Análisis de pH

El pH es un indicador de la calidad del agua que en nuestro país y en diversas partes del mundo esta estandariza, para este caso el límite máximo permisible establece un rango optimo neutro de 6,5 a 7,0 (D. S. N.º 031-2010-SA)

- Variación de pH por tratamientos

Al realizarse la prueba de Tukey para la variación de pH se logra observar que el sulfato de aluminio tiene un mayor porcentaje que el resto con una media de 37,87 %. Esto significa que el tratamiento de naturaleza química es capaz de reducir este parámetro en más de su tercera parte, lo cual lo hace estadísticamente diferente al resto de tratamientos, los cuales comparten una misma letra y de un mismo color, lo que los hace estadísticamente similares.

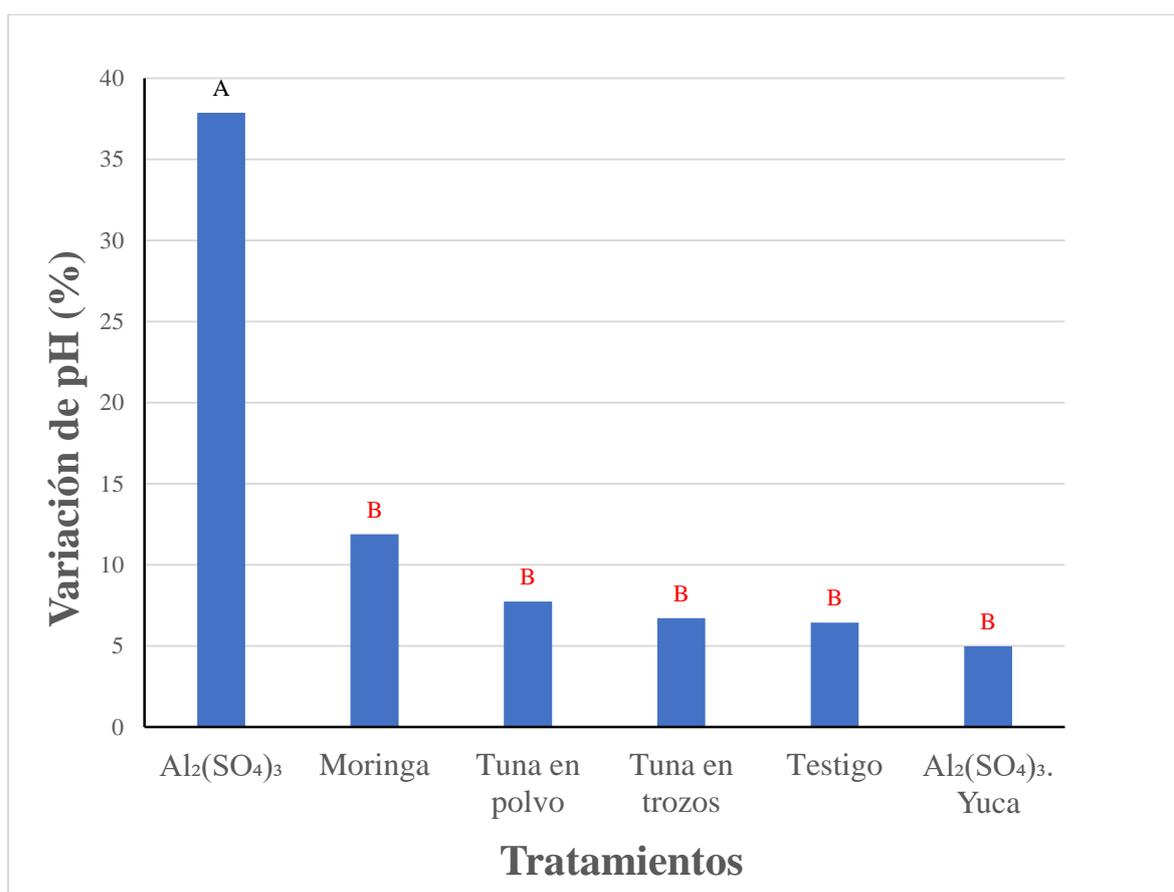


Figura 59. Variación de pH en función del tratamiento aplicado

4.1.2 Análisis de Sólidos Totales Disueltos

Al analizar las variaciones que presenta este parámetro, se puede evidenciar la gran diferencia que existe entre el tratamiento hecho a base de moringa con el resto de tratamientos, reduciendo hasta un 85,84 % de sólidos totales disueltos en el agua; por otro lado, el Sulfato de Aluminio en combinación del almidón de yuca tiene un 57,53 % de aumento, estadísticamente similar a la moringa y superiores al resto de tratamientos. Se

observa también que la tuna en polvo, el testigo y la tuna en trozos presentan bajos valores de aumento de TDS luego de su aplicación.

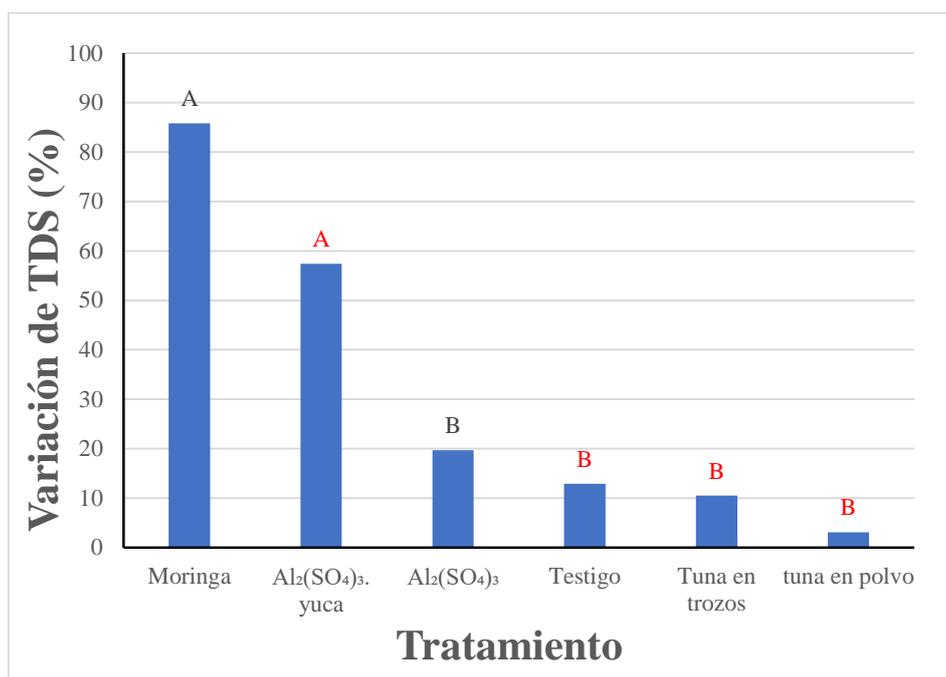


Figura 60. Variación de TDS en función de los tratamientos

4.1.3 Análisis de la conductividad eléctrica

La comparación de medias de este parámetro demostró que absolutamente todos los tratamientos son estadísticamente similares, presentando todos porcentajes de aumento. Teniendo a la tuna en polvo como el tratamiento que menor porcentaje de elevación posee. Y a la moringa como el floculante con mayor incidencia de aumento de conductividad en las muestras.

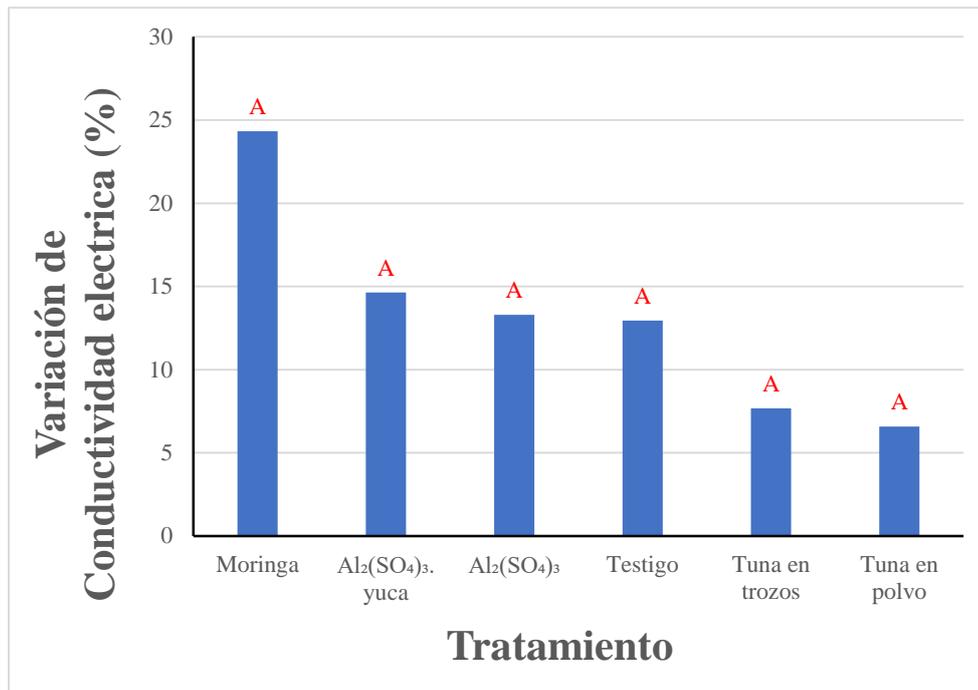


Figura 61. Variación de conductividad eléctrica en función de los tratamientos

4.1.4 Análisis de la temperatura

Para poder analizar este parámetro tomamos en consideración el estándar de calidad ambiental, el cual estipula que la variación de temperatura no debe ser mayor de 3 grados Celsius. La figura 65 nos muestra la gráfica de la variación de la temperatura expresada en Celsius, el cual solo es la diferencia de los niveles finales con los iniciales; en función de los tratamientos. (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017).

Se puede observar que todos los tratamientos tuvieron un efecto de aumento en este parámetro. Es en el caso de la Tuna en trozos la cual excede el estándar con una media de 3.88 °C, mientras que la moringa y el sulfato de aluminio presentan una misma media, excediendo por 0.1 °C. La tuna en polvo, el testigo y el sulfato de aluminio en combinación de almidón de yuca están por debajo del estándar, siendo para este parámetro las mejores opciones.

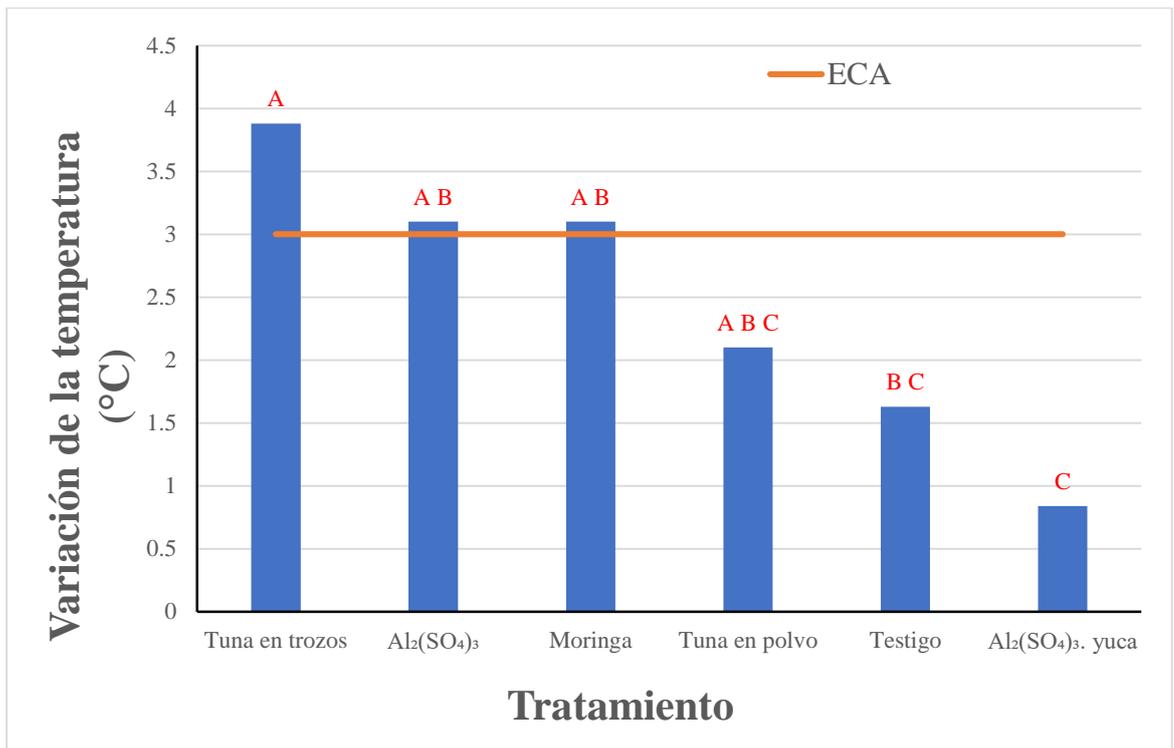


Figura 62. Variación de la temperatura en función de los tratamientos

4.2. Análisis del porcentaje de remoción de la turbidez

Para poder medir esta variable respuesta, se utilizó la fórmula expresada en capítulos anteriores, siendo ésta la más determinante.

Los datos obtenidos en las muestras donde se aplicó la moringa fue descartada debido a que el equipo marcaba excedencia de turbidez. Esto podría deberse a una irregularidad durante su preparación. Del mismo modo se descartaron los datos obtenidos del Bloque IV pues este presentaba porcentajes de aumento, el cual se debe a su baja turbidez inicial. Tomando en cuenta la bibliografía, mencionan que los floculantes tienen un mejor efecto cuando los niveles iniciales de turbidez son altos, de lo contrario la aplicación de estos podría incrementar seriamente la turbidez de la muestra.

Tabla 11*Análisis de la varianza del porcentaje de remoción de la turbidez*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados medios (CM)
		Porcentaje de turbidez removido
Bloque	2	255.02
Tratamiento	4	476.34**
Error	8	-
Total	14	-
<hr/>		
Coefficiente de Variación (%)	-	36.1

Nota 1: * representa un p valor < 0.05, lo cual indica que existe diferencia significativa

Nota 2: ** representa un p valor < 0.01, lo cual indica que existe diferencia altamente significativa

Nota 3: Coeficiente de variación mayor de 30% indica que los datos deben tomarse con cautela.

- Remoción de la turbidez por tratamiento

La figura 66 muestra el resultado luego de haberse realizado la prueba de tukey, teniendo como principal floculador al sulfato de aluminio quien con una dosis 80 mg/L logró obtener un 61.6103 % de remoción de la turbidez, dejando en segundo lugar a la tuna en polvo el cual pudo lograr hasta un 40.60 % de disminución de este parámetro. Se observa también que el mucilago de tuna posee similitud estadística tanto con el sulfato de aluminio que con el resto de tratamientos. Entre el sulfato de aluminio y el resto de tratamiento a excepción de la tuna existe una diferencia altamente significativa.

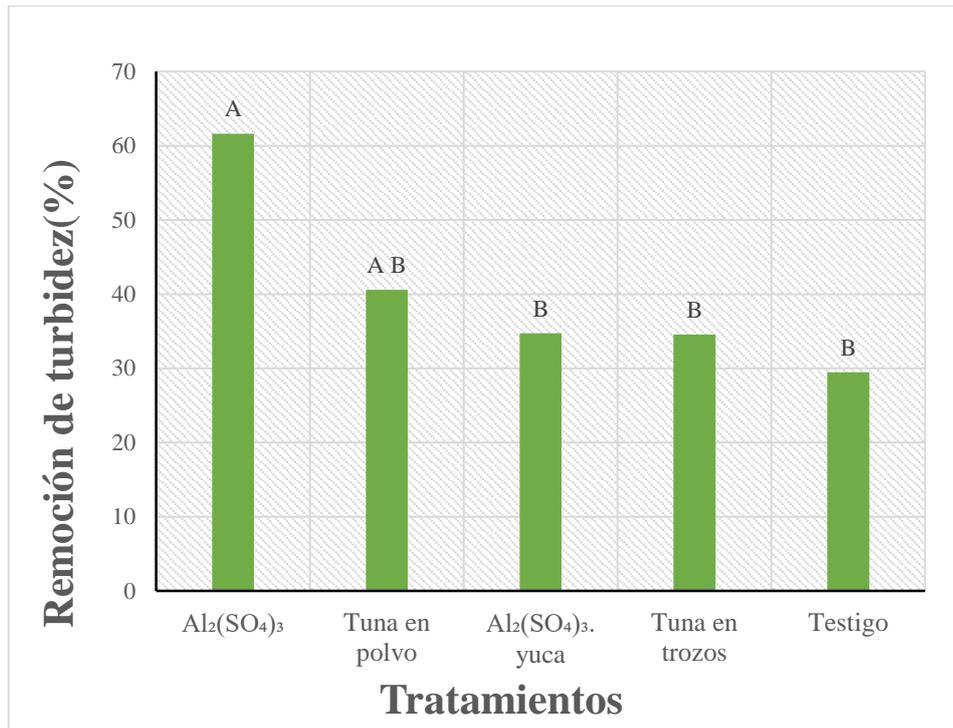


Figura 63. Porcentaje de turbidez removida por tratamiento

- **Remoción de la turbidez por bloques**

La prueba de Tukey para la remoción de la turbidez aplicada a los bloques, arrojó que existe efecto similar en los porcentajes de remoción en este parámetro ($P > 0.05$). El único lugar que presentó un valor menor fue el río Huaura con una media de 31.96.

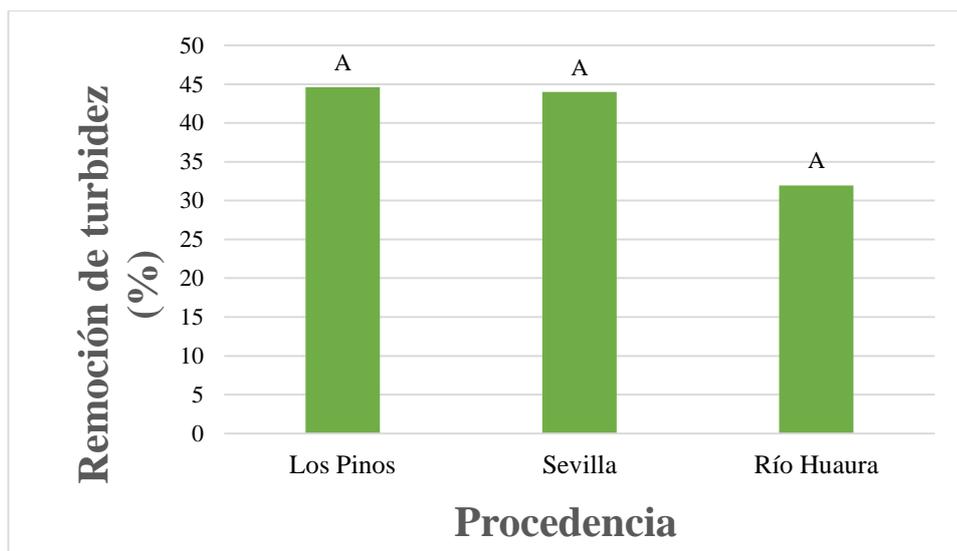


Figura 64. Porcentaje de turbidez removida por bloque

Tabla 12**4.3. Valor de sostenibilidad de los tratamientos**

Para poder establecer que tratamiento resulta ser mas sostenible en terminos de costos y calidad de agua, se diseño una escala de valoración a cada parametro medido. Los resultados fueron comparados con los estandares nacionales para asignarle un valor en base al cumplimiento o al no cumplimiento del criterio dado por los autores.

VALORACIÓN						
Parámetros de campo / Tratamientos	Tuna en polvo	Tuna en trozos	Moringa	Sulfato de Aluminio	Al₂(SO₄)₃. Yuca	Ponderación
pH	2	2	2	1	2	
Conductividad eléctrica	2	1	1	1	2	
Temperatura	2	1	1	1	2	20%
Sólidos totales disueltos	2	1.5	4	1	2	
Total	8	5.5	8	4	8	
Porcentaje de remoción de la turbidez	2	1	1	3	1	50%
Valoración económica	3	3	1	2	1	30%
VALOR DE SOSTENIBILIDAD (CALIDAD DE AGUA)	4	2.5	2	2.9	2.4	

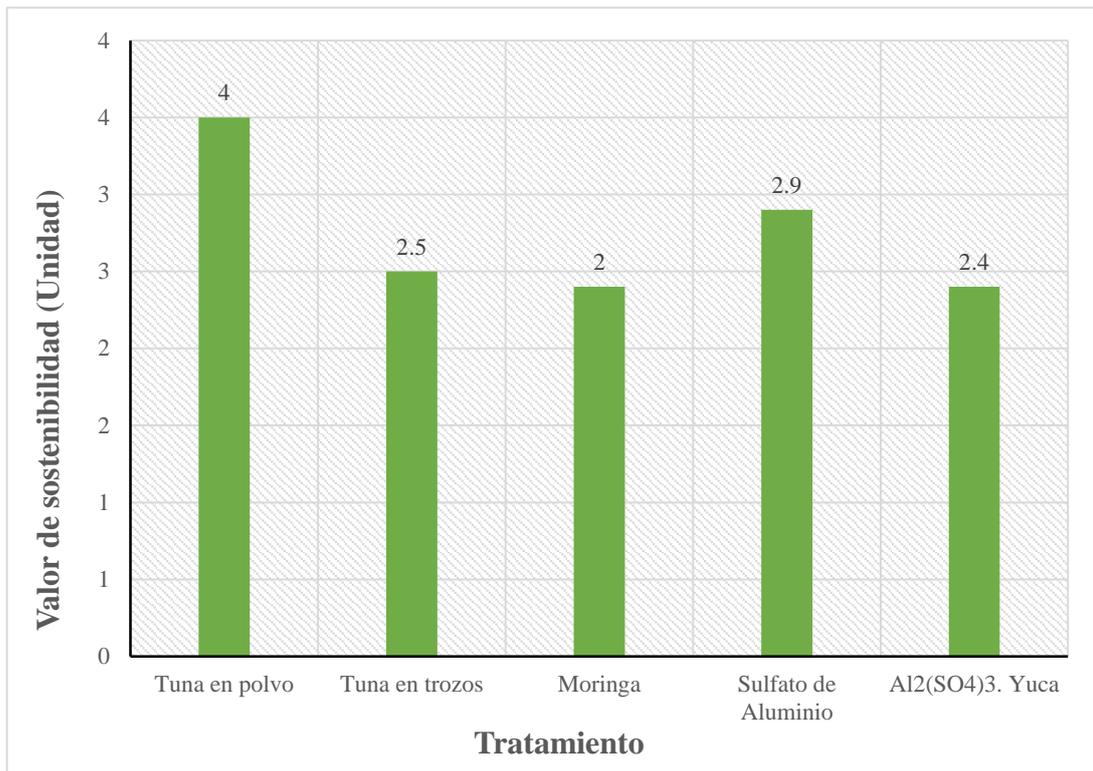


Figura 65. Valor de sostenibilidad por tratamiento

Podemos apreciar que debido a los valores asignados como se muestra en el anexo 1, el tratamiento con mejor valor de sostenibilidad es el de la tuna en polvo.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos por la aplicación del tratamiento de mucilago de tuna en polvo, representan un 40.60 % de remoción de la turbidez ($P < 0.01$), Morejón (2017) obtuvo un efecto altamente significativo ($P < 0.01$), en la remoción de la turbidez con un 65.42% a 50% de dosis de floculante.

En cuanto a la aplicación de la moringa, los resultados fueron contraproducentes, elevando los niveles de turbidez por encima de lo medible por el equipo (Ver Anexo 4). La eficacia de la moringa como floculante es avalada por Meza-Leones *et al* (2018) quienes lograron remover un 76,3% de turbidez a una dosis de 750 mg/L, misma dosis que fue utilizada en la presente investigación, y por Acevedo (2019) quien obtuvo un 40.3 % de remoción de la turbidez respecto de los niveles iniciales aplicando una dosis de 5 mg/L.

La aplicación del polímero floculante hecho a base de sulfato de aluminio más almidón de yuca logró obtener un porcentaje de remoción de un 34.72 % teniendo un efecto altamente significativo ($P < 0.01$). Ortiz *et al* (2018) aplicó este mismo método proponiendo el almidón de yuca como coadyuvante llegando a obtener un porcentaje de reducción de entre 44.8 % y 61.4 %, coincidiendo estadísticamente con los resultados de la presente investigación.

El sulfato de aluminio siendo el floculante por excelencia logró remover en promedio un 61.61 %, estos resultados son avalados por los estudios realizados por Meza-Leones *et al* (2018) Ortiz *et al* (2018) con una remoción de hasta 96 %.

En cuanto a los parámetros complementarios de la calidad del agua todos los tratamientos dieron resultados de conductividad eléctrica por debajo del límite máximo permisible de la norma. En cuanto a los sólidos totales disueltos solo el valor final de la muestra 2.2 correspondiente al Sector de Sevilla en el cual fue aplicado el mucilago de tuna, excedió el límite máximo permisible.

Respecto al pH, el sulfato de aluminio acidificó las aguas de todos los bloques dejándolas por debajo de los límites máximos permisibles. Del mismo modo el sulfato de aluminio más el almidón de yuca también logró disminuir el pH debido a la presencia del compuesto químico, esto se fundamenta en los estudios mencionados anteriormente.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los tratamientos fueron evaluados en función del efecto que tuvieron sobre los parámetros que condicionan la calidad del agua. El tratamiento que tuvo un mejor efecto en la mejora de la calidad fue sin duda alguna el mucilago de tuna en polvo el cual obtuvo un valor de sostenibilidad 4.

El floculante hecho a base de semilla de moringa en polvo logró tener una mejor incidencia en los resultados finales de los sólidos totales disueltos con una reducción de hasta un 85.84 %.

Se evaluó el porcentaje de remoción de la turbidez el cual demostró que el sulfato de aluminio resultó ser el floculante por excelencia dejando por debajo a los demás tratamientos, a excepción del mucilago de la tuna en polvo. Estos tratamientos resultaron ser estadísticamente similares por lo que ambas son opciones viables y eficientes en la remoción de la turbidez presentes en el agua.

En cuanto al tratamiento ecoeficiente de menor costo, se determinó que la tuna, ya sea que su mucilago en polvo o en trozos, demostraron tener efectos ecoeficientes en todos los parámetros medidos, aun así, el primero de estos resultó ser de menor costo siendo que el costo por litro de agua tratada es de 5 S/.

6.2 Recomendaciones

En el futuro, las venideras investigaciones deberían realizar un análisis de dosificación por cada tratamiento independiente de una sola fuente de agua para de esta manera hallar dosis óptimas que generen un mejor impacto en los parámetros complementarios de la calidad de agua.

Realizar investigaciones que contengan una mayor cantidad de repeticiones que permitan tener resultados de remoción de turbidez y mejor de la calidad del agua de potencial consumo en el distrito de Santa María.

Revisar mayor cantidad de metodología para la preparación óptima de los tratamientos sin que exista la posibilidad de encontrar resultados contraproducentes. De este modo aseguramos resultados óptimos y esperados.

Recomendamos también realizar investigaciones acerca de los beneficios de la tuna en polvo como tratamiento de aguas domésticas de las zonas rurales y altoandinas de nuestro país

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E. (2019). *Uso de Semillas de Moringa (Moringa Oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Rio Negro, Rio de Oro y Quebrada Floridablanca, Santander* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.udes.edu.co/handle/001/1050>
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf;jsessionid=4B500FE672CAB86B6A830E44F555553E?sequence=1>
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, D., Parra, P., Marín, J., y Díaz, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C., Ramos-Pacheco, B., Solano-Reynoso, A., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D., y Quispe-Quispe, Y. (2020). Optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Revista DYNA*, 87(212), 90-95. <http://doi:10.15446/dyna.v87n212.80467>
- Congreso Constituyente Democrático (1993). Constitución Política del Perú aprobado mediante Referéndum constitucional de 1993. Perú. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/198518/Constitucion_Politica_del_Peru_1993.pdf
- Dávila, C., Huamán, M., Flores, J., Polo, R., y Araujo, N. (2018). Efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas. *Revista Aporte Santiaguino*, 11(2), 299-310. <http://doi:10.32911/as.2018.v11.n2.583>
- Instituto Nacional de defensa Civil. (2007). Informe Final mapa de peligros de la ciudad de Huacho. Recuperado de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/2729>
- Guevara, G., Verdesoto, A., y Castro, E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista*

- científica mundo de la investigación y el conocimiento*, 4(3), 163-173. <http://doi:10.26820/recimundo/4>
- Ley General del Ambiente N.º 28611. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 15 de octubre de 2005. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Lozano, L. (2018). *Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de opuntia ficus-indica (tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/721>
- Mera-Alegría, C., Gutiérrez-Salamanca, C., Montes-Rojas, C., y Paz-Concha, J. (2016). Efecto de la moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 100-109. [http://doi:10.18684/BSAA\(14\)100-109](http://doi:10.18684/BSAA(14)100-109)
- Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., y 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), 95-104. <http://doi:10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. *Autoridad Nacional del Agua*. Perú
- Ministerio del Ambiente (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. *Ministerio del Ambiente*. Perú.
- Ministerio de Salud (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano aprobado mediante Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. *Salud Ambiental*. Perú.
- Ministerio de Salud (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo aprobado mediante Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA. *Dirección General de Salud*. Perú.
- Morejón, B. (2017). *Utilización del mucilago de tuna (Opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi* (Tesis de postgrado). Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

- Ortiz, V., López, G., Torres, C., y Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 18-46. <http://doi: 10.23913/ciba.v7i13.73>
- Renault, F., Sancey, B., Badot, M., y Crini, G. (2008). Chitosan for coagulation/flocculation processes – an eco-friendly. *European Polymer Journal*, 45(2009), 1337-1348. <http://doi: 10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>
- Rodríguez, L., Hernández, A., Rodríguez, C. (2017). Diversificación del uso industrial del yacimiento Río del Callejón: Obtención de Sulfato de aluminio para tratamiento de agua. *Minería y Geología*, 33(2), 177-190. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S199380122017000200004&lng=es&tlng=es
- Silva, M. (2017). *Extracción del mucilago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7155>
- Torres-Parra, C., García-Ubaque, C., García-Ubaque, J., García-Vaca, M., y Pacheco-García, R. (2017). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativa de filtración. *Revista salud pública*, 19(4), 453-459. <http://doi: 10.15446/rsap.v19n5.56039>
- Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de medicina experimental y salud pública*, 35(2), 304-308. <http://doi: 10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Zamudio, J., Reinel, J., Ibarra, D., Solaque, Ó., Cafiero, A., y Garzón, E. (2015). Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. *Revista tecnología y productividad*, 1(1), 71-83. <http://doi: 10.23850/24632465.248>

ANEXOS

Anexo 1. Escala de valoración de la calidad de agua para hallar valor de sostenibilidad

Tabla 13

Escala de valoración para la variación de pH

ESCALA DE VALORACIÓN				
	Variación positiva		Variación Negativa	
	>20 %	<20%	>20 %	<20%
PH	2	1	2	1

Tabla 14

Escala de valoración para la variación de la Conductividad eléctrica

ESCALA DE VALORACIÓN				
	Variación positiva		Variación Negativa	
	>10 %	<10%	>10 %	<10%
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2	1	2	1

Tabla 15

Escala de valoración para la variación de la temperatura

ESCALA DE VALORACIÓN		
	>3 °C	<3 °C
TEMPERATURA	1	2

Tabla 16

Escala de valoración para el porcentaje de turbidez removida

ESCALA DE VALORACIÓN			
	> 20 %	> 40%	> 60%
	Remoción	Remoción	Remoción
TURBIDEZ	1	2	3

Tabla 17*Escala de valoración para la valoración económica*

ESCALA DE VALORACIÓN		
ECONÓMICO	ECONÓMICO	POCO
<0.05% (Sueldo básico) / L de agua tratada	<1% (Sueldo básico) / L de agua tratada	ECONÓMICO >1% (Sueldo básico) / L de agua tratada
3	2	1
VALORACIÓN ECONÓMICA		

Tabla 18*Escala de valoración para la variación de solidos totales disueltos*

ESCALA DE VALORACIÓN							
Variación positiva				Variación Negativa			
<10 %	<20 %	<40	<60%	> 10%	>20 %	>40	>60%
2	1.5	1	0.5	1	2	3	4
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES							

Anexo 2. Evaluación económica de los tratamientos por agua tratada

Tabla 19*Gastos realizados por tratamiento para la obtención de los floculantes*

Tratamiento / Ítem	Obtención de la materia prima / Kg (S/.)	Materiales de preparación (S/.)	Gestión (S/.)	Valor económico en soles por litro de agua tratada (S/.)
Tuna en polvo	0	2.5	2.5	5
Tuna en trozos	0	2.5	2.5	5
Moringa	6	2.5	2.5	11
Sulfato de Aluminio	10	0	0	10
Al ₂ (SO ₄) ₃ . Yuca	3	5	5	8

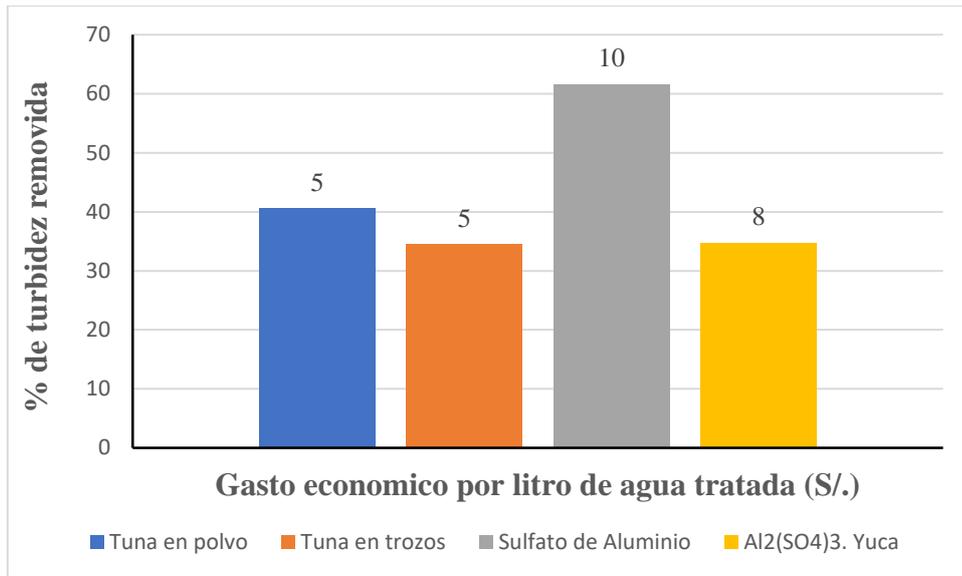


Figura 66. Grafica costo por litro de agua tratada, por % de turbidez removida.

Anexo 3. Graficas de niveles iniciales y finales de los parámetros complementarios comparados con la normativa nacional

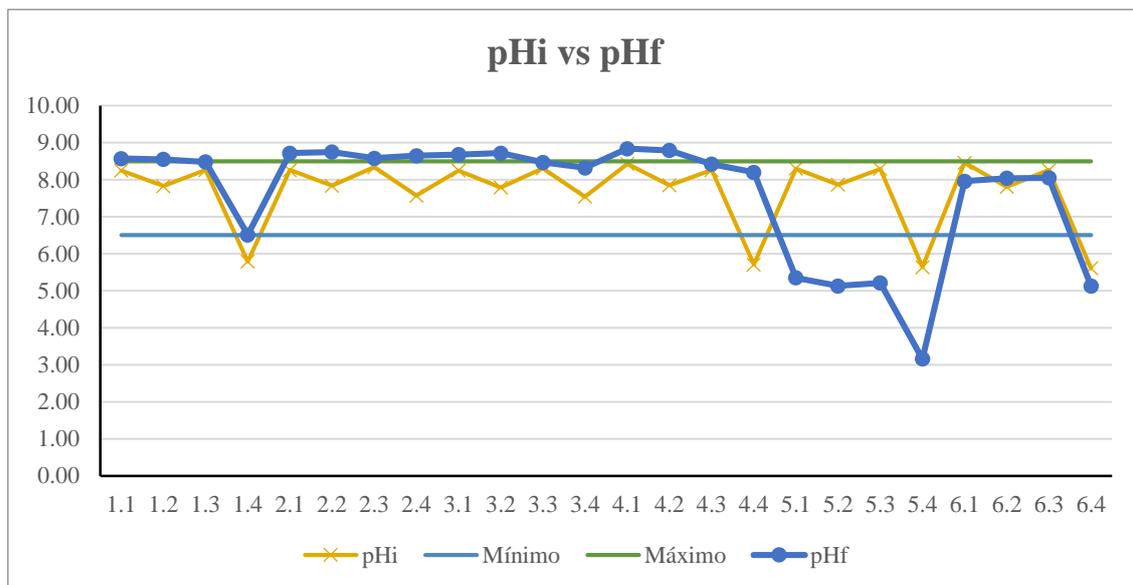


Figura 67. Grafica de niveles inicial y final del pH comparados con la norma

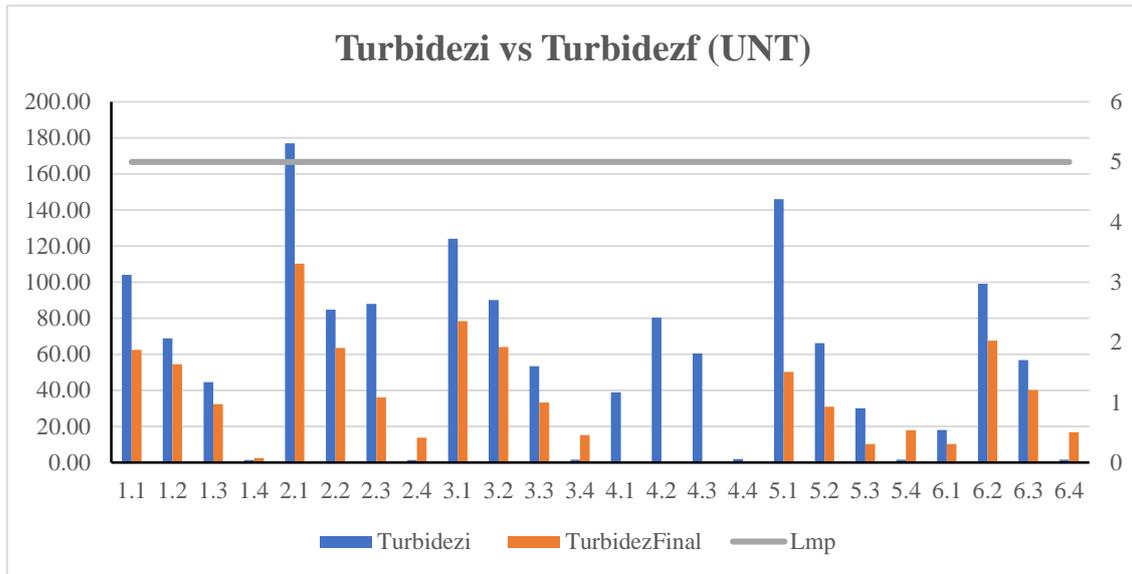


Figura 68. Grafica de niveles inicial y final de la turbidez comparados con la norma

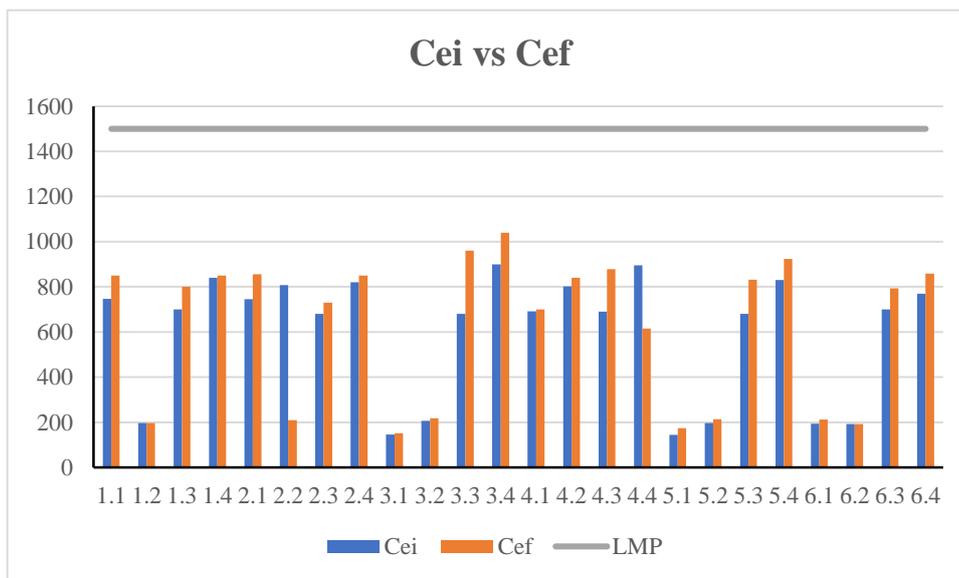


Figura 69. Grafica de niveles inicial y final de la conductividad eléctrica comparados con la norma

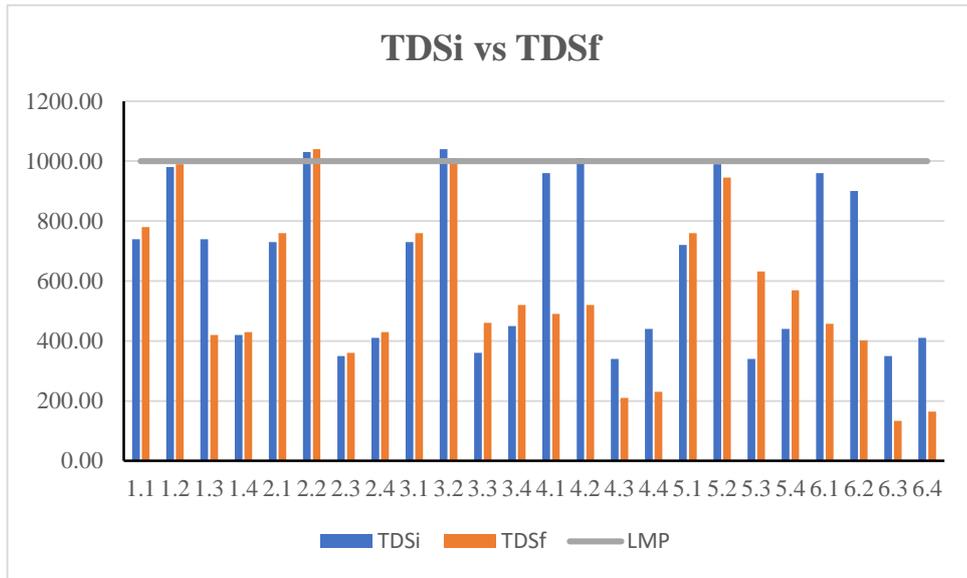


Figura 70. Grafica de niveles inicial y final de los sólidos totales disueltos comparados con la norma

Anexo 4. Evidencia de excedencia de turbidez para turbidez final tras la aplicación del floculante hecho a base de semilla de moringa en polvo



Figura 71. Equipo medidor de la turbidez muestra excedencia de UNT para resultados después de la aplicación de la moringa

Anexo 5. Cadena de custodia de parámetros de campo y registro final de valores en laboratorio post ensayo de jarras

Figura 72. Cadena de custodia de medición de parámetros en campo en B-I (Los Pinos)

Efecto de floculantes alternativos en la mejor de la calidad de agua de potencial consumo en Santa María, Huaura		Disponde de Sistema de Agua Potable		Si									
Región		Provincia		No									
Localidad / Dirección		FIRMA		X									
Muestreador		FIRMA		Huaura									
Distrito		DNI		7524893									
Santa María		7524893		18L									
Juan Paballo Ramirez		7524893		Este									
DNI		7524893		Norte									
Efecto de floculantes alternativos en la mejor de la calidad de agua de potencial consumo en Santa María, Huaura		Disponde de Sistema de Agua Potable		Si									
Región		Provincia		No									
Localidad / Dirección		FIRMA		X									
Muestreador		FIRMA		Huaura									
Distrito		DNI		7524893									
Santa María		7524893		18L									
Juan Paballo Ramirez		7524893		Este									
DNI		7524893		Norte									
Efecto de floculantes alternativos en la mejor de la calidad de agua de potencial consumo en Santa María, Huaura		Disponde de Sistema de Agua Potable		Si									
Región		Provincia		No									
Localidad / Dirección		FIRMA		X									
Muestreador		FIRMA		Huaura									
Distrito		DNI		7524893									
Santa María		7524893		18L									
Juan Paballo Ramirez		7524893		Este									
DNI		7524893		Norte									
codigo de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Origen de la muestra	Punto de Muestreo	Parametros de Campo				Tipo de muestra		Coordenadas del punto de muestreo		
					Ph	Temperatura °C	Conductividad (umho/cm)	Turbiedad (UNT)	TDS (Mg/L)	Microbiologico	Fisico-Quimico	Metales pesados	Este
1.1	13/10/22	14:40	/	B-II	7.83	18.7	196	68.9	180	X	X	217210	8772777
2.2	13/10/22	14:45	/	B-II	7.84	18.5	807	817	1030	X	X	217210	8772777
3.2	13/10/22	14:50	/	B-II	7.79	18.3	306	90.1	1090	X	X	217210	8772777
4.2	13/10/22	14:55	/	B-II	7.85	18.4	802	80.4	1010	X	X	217210	8772777
5.2	13/10/22	15:00	/	B-II	7.87	18.5	197	669	990	X	X	217210	8772777
6.2	13/10/22	15:05	/	B-II	7.81	18.9	192	99.1	900	X	X	217210	8772777

[Handwritten Signature]

Responsable del Monitoreo

Figura 73. Cadena de custodia de medición de parámetros en campo en B-II (Sevilla)

Región		Efecto de floculantes alternativos en la mejor de la calidad de agua de potencial consumo en Santa María, Huaura		Disponde de Sistema de Agua Potable		Si											
Localidad / Dirección		Distrito		Provincia		No											
Muestreador		DNI		FIRMA													
LIMA		Santa María		75134893		Luisa											
Muestreador		Jhon Paballo Ramirez				Luisa											
Codigo de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Origen de la muestra	Punto de Muestreo	Parametros de Campo				Coordenadas del punto de muestreo								
					Temperatura °C	Conductividad (µmho/cm)	Turbiedad (UNT)	TDS (Mg/L)	Microbiológico	Físico-Químico	Metales pesados	Zona UTM	Este	Norte			
14	13/10/22	14:35	/	B-IV	379	140	840	145	470	X	X						
24	13/10/22	14:36	/	B-IV	557	189	820	147	410	X	X						
34	13/10/22	14:37	/	B-IV	554	189	900	149	456	X	X						
44	13/10/22	14:38	/	B-IV	571	140	896	19	440	X	X						
54	13/10/22	14:39	/	B-IV	564	190	830	157	440	X	X						
64	13/10/22	14:40	/	B-IV	561	183	770	148	410	X	X						

[Handwritten Signature]

Responsable del Monitoreo

Figura 75. Cadena de custodia de medición de parámetros en campo en B-IV (Control)

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE CALIDAD DE SUELO Y AGUA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL - UNFSC

Lugar de realización de ensayo: Lima

Region: Lima Provincia: Huaura

Distrito: Huacho Este: 215076

Coordenadas Norte: 8768985

Técnica de ensayo: Ensayo de Jarras por Agitación Mecánica

Datos de ensayo: Velocidad de agitación (RPM): 13000 Tiempo de agitación: 15 minutos

Datos de agitador mecánico: Marca: Forney Modelo: UC Serie: LA-3770-03

Datos de equipo medidor multiparametros: Marca: Hanna Modelo: HI 98130 Serie: SN=0708018911

Datos de equipo Turbidímetro: Marca: Hach Modelo: 2100Q Serie: 140600022406

Resultados:

Parametros/Muestra	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	5.1	5.2	5.3	5.4	6.1	6.2	6.3	6.4
pH	8.57	8.55	8.48	6.51	8.71	8.75	8.58	8.65	8.68	8.72	8.44	8.32	8.84	8.79	8.40	8.2	5.35	5.13	5.21	3.16	7.96	8.04	8.05	5.13
Conductividad (S/m)	850	197	880	850	856	910	730	850	151	218	910	1010	700	840	818	615	174	213	882	924	212	192	794	859
Turbidez (UNT)	640	5450	32.3	215	110.3	63.5	36	13.10	183	64	332	15.2	-	-	-	-	50.2	21	10.2	17.9	10.32	67.6	40.1	16.7
Sólidos totales disueltos (mg/L)	480	990	410	480	760	1040	360	430	760	1010	1460	520	490	520	210	230	760	945	632	564	457	402	133	764
Temperatura (°C)	20.7	20.5	20.6	20.4	20.8	20.7	21	20.8	21.3	21.5	20.9	21.5	22.1	22.2	20.4	22.5	20.1	22.32	22.39	22.1	19.9	19.6	20.35	19.11

Datos de los responsables de ensayo:

Nombres y apellidos: PADILLA RAMIREZ JEAN CARLOS ALFONSO

Nombres y apellidos: VELARDE CONDORI MILKO MIGUEL

Institución: UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SANCHEZ CARRION

Proyecto: EFFECTO DE FLOCULANTES ALTERNATIVOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE AGUA DE POTENCIAL CONSUMO EN SANTA MARÍA, HUAURA

Fecha: 14/10/2022 Hora Inicio: 11:00 a.m Hora culminó: 9:30 pm

Figura 76. Ficha de valores post ensayo de jarras