



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**TRATAMIENTO DE AGUAS NATURALES POR FLOCULACIÓN
CON SALES DE ALUMINIO Y FLOCULANTE AYUDA HARINA
DE PAPA DESHIDRATADA, PARA REMOCIÓN DE TURBIEDAD,
ALUMINIO RESIDUAL Y REDUCCIÓN DEL FLOCULANTE**

TESIS

PRESENTADA POR:

ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios por el precioso regalo que es la vida y las bendiciones del día a día.

A mis padres Angelina y Martin quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermano Vladimir y a mi querida tía Sofia por su cariño y apoyo incondicional.

A toda la familia que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y que de una u otra forma me acompañan en mis sueños y metas.

Zaida Lizeth Sucaticona Toque



AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano, a toda la Facultad de Ingeniería Química, a mis Docentes M.Sc. Maria Rodriguez, M.Sc. Jorge Aruahuanca, M.Sc. José Mamani, M.Sc. Alfredo Lujano quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Mi sincero agradecimiento al D.Sc. Norberto Miranda, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos por brindarme su amistad y apoyarme en todo momento Flor de Alhelí, Yasmin, Lidimar, Sandra, Nestor, Erica.

A la Srtas. Bernarda y Alicia por los consejos y el apoyo hacia mi persona.

Zaida Lizeth Sucaticona Toque



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 18

ABSTRACT..... 19

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL 21

1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS..... 21

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 21

1.3.1. Hipótesis general..... 21

1.3.2. Hipótesis específicas..... 22

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 22

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 24

1.5.1. Objetivo general..... 24



1.5.2. Objetivos específicos	24
------------------------------------	----

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO.....	26
2.1.1. Aguas Naturales Continentales	26
2.1.2. Los metales en el ciclo del agua.	26
2.1.3. Aluminio	27
2.1.4. Aluminio en el Agua.....	27
2.1.5. Turbiedad.....	27
2.1.6. Agrupamiento de partículas en la floculación.	28
2.1.7. Factores que influyen en la coagulación – floculación.....	28
2.1.8. Sulfato de Aluminio.....	30
2.1.9. Policloruro de Aluminio	31
2.1.10. Método de evaluación de la floculación por test de jarras.....	31
2.2. MARCO CONCENCEPTUAL	33
2.2.1. Partículas en suspensión.	33
2.2.2. Los coloides.....	33
2.2.3. Carga eléctrica y doble capa en partículas coloidales.....	33
2.2.4. Tratamiento de Aguas por floculación.....	34
2.2.5. Procesos de Coagulación y Floculación.	35
2.2.6. Coagulación	35
2.2.7. Floculación.....	38
2.2.8. Sedimentación.....	40
2.2.9. Modificación de pH, en la floculación.....	40



2.2.10. Papa deshidratada chuño:.....	41
2.2.11. Almidones nativos modificados.....	42
2.2.12. Oxidación de almidones.....	42
2.3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	44

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	52
3.1.1. Ubicación geográfica:	52
3.1.2. Ubicación política:	52
3.1.3. Ubicación hidrográfica	54
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	54
3.2.1. Punto de Muestreo (M1):.....	54
3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS.....	55
3.3.1. Tipo de investigación:.....	55
3.3.2. Materiales, Equipos y Reactivos:.....	55
3.3.3. Método experimental	56
3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO	63
3.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN LABORATORIO	64
3.5.1. Proceso de Coagulación – Floculación.....	64
3.6. VARIABLES	67

CAPITULO IV



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	68
4.1.1. Caracterización físico químico del agua natural del rio Coata	68
4.1.2. Caracterización físico químico de la Harina de papa deshidratada.	69
4.2. EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y ALUMINIO RESIDUAL DEL AGUA POR PROCESO DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN	70
4.2.1. Evaluación de la Dosis óptima para Remoción de Turbiedad y Monómero Aluminio utilizando coagulantes Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio.	71
4.2.2. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda harina de papa deshidratada, con dosis óptima del coagulante Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio, para la remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al₃⁺) del agua.	75
4.2.3. Evaluación del pH óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al₃⁺) del agua, con coagulante Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio óptimo y floculantes ayuda harina de papa deshidratada.	84
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92
4.3.1. Análisis unifactorial para proceso de floculación con Sulfato de aluminio.	92
4.3.2. Análisis unifactorial para proceso de floculación con Policloruro de aluminio.	98
4.3.3. Análisis de varianza de la cantidad de floculante de Imilla negra y rosada con el sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NUT).....	103



4.3.4. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante sulfato de aluminio para la remoción del Aluminio Residual (Al)	106
4.3.5. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante policloruro de aluminio para remoción de la Turbiedad (NTU)	109
4.3.6. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante policloruro de aluminio para remoción del Aluminio residual (Al).....	112
4.3.7. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con sulfato de aluminio y pH óptimo para la remoción de la Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al).....	115
V. CONCLUSIÓN	119
VII. RECOMENDACIONES	121
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
ANEXOS.....	128

Fecha de sustentación: 25 de julio de 2022

Área : Ciencias de la Ingeniería

Tema : Tratamiento de Aguas Naturales

Línea: Tecnologías Ambiental y Recursos Naturales



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Doble capa de Cargas eléctrica de una partícula coloidal.....	34
Figura 2. Reacción de Oxidación del Almidón con Hipoclorito de sodio.....	43
Figura 3. Grupos Hidroxilos sustituidos en la Oxidación del Almidón	43
Figura 4. Punto de muestreo M1. Puente Independencia Juliaca.	53
Figura 5. Equipo para ensayo de test de jarras de cuatro jarras.....	66
Figura 6. Dosis óptima y Límite Máximo Permisible para Remoción de Turbiedad y Aluminio Residual con coagulante Sulfato de aluminio.....	73
Figura 7. Dosis óptima y Límite Máximo Permisible para remoción de Turbiedad y Aluminio Residual con coagulante Policloruro de aluminio	75
Figura 8. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Sulfato de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al ³⁺).....	78
Figura 9. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Sulfato de aluminio óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al ³⁺).....	80
Figura 10. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al ³⁺).....	82
Figura 11. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al ³⁺).....	84
Figura 12. pH Óptimo para Remoción Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al ³⁺) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra.....	87



Figura 13. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Rosado.....	88
Figura 14. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +) con Policloruro de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra.....	90
Figura 15. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +) con Policloruro de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Rosada.....	92
Figura 16. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NUT).....	105
Figura 17. Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con el Sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NTU).....	106
Figura 18. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción de aluminio residual (Al)	108
Figura 19. Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con el Sulfato de aluminio para remoción de aluminio residual.....	109
Figura 20. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante Policloruro de aluminio para remoción de la turbiedad (NTU).....	111
Figura 21. Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con floculante policloruro de aluminio para remoción de turbiedad.	112
Figura 22. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante Policloruro de aluminio para remoción del aluminio residual.....	114



- Figura 23.** Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con el floculante policloruro de aluminio para remoción de aluminio residual. 115
- Figura 24.** Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante sulfato de aluminio y pH óptimo para remoción de la turbiedad y aluminio residual. 117
- Figura 25.** Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante Policloruro de aluminio y pH óptimo para remoción de turbiedad y aluminio residual. 118



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. pH óptimo para la Coagulación - Flocculación	29
Tabla 2. Concentraciones típicas para soluciones coagulantes.....	32
Tabla 3. Composición química del Chuño de Papa	41
Tabla 4. Dosis óptimo del coagulante Sulfato de Aluminio para prueba de Test de Jarras	58
Tabla 5. Dosis óptimo del coagulante Policloruro de Aluminio para prueba de Test de Jarras.....	58
Tabla 6. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Negra con Sulfato de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al + 3 por Test de Jarras	60
Tabla 7. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Rosada con Sulfato de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al + 3 por Test de Jarras	60
Tabla 8. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Negra con Policloruro de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al + 3 por Test de Jarras	61
Tabla 9. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Rosada con Policloruro de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al + 3 por Test de Jarras	61
Tabla 10. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al + 3) en el agua tratada por Test de Jarras con Sulfato de Aluminio – Imilla Negra	62
Tabla 11. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al + 3) en el agua tratada por Test de Jarras con Sulfato de Aluminio – Imilla Rosada	62



Tabla 12. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al + 3) en el agua tratada por Test de Jarras con Policloruro de Aluminio – Imilla Negra	62
Tabla 13. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al + 3) en el agua tratada por Test de Jarras con Policloruro de Aluminio – Imilla Rosada.....	62
Tabla 14. Tabla Anova.....	64
Tabla 15. Concentraciones recomendadas de las soluciones coagulante-floculante para tratamiento por test de jarras	65
Tabla 16. Características del equipo test de jarras	66
Tabla 17. Características físico–químico del agua natural del río Coata en el punto de muestreo (M1).....	68
Tabla 18. Estructura molecular de la Harina de papa deshidratada de la variedad Imilla Negra (Solanum tuberosum ssp).....	69
Tabla 19. Estructura molecular de la Harina de papa deshidratada de la variedad Imilla Rosada (Solanum tuberosum ssp).....	70
Tabla 20. Dosis óptima para Remoción de Turbiedad y Aluminio Residual utilizando coagulante Sulfato de aluminio.....	72
Tabla 21. Dosis óptima para Remoción de Turbiedad y Aluminio Residual utilizando coagulante Policloruro de aluminio	74
Tabla 22. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Sulfato de aluminio óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +).....	77



Tabla 23. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Sulfato de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +).....	79
Tabla 24. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +).....	81
Tabla 25. Evaluación de dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al).....	83
Tabla 26. pH Óptimo para Remoción Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra.....	86
Tabla 27. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Rosado.....	88
Tabla 28. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +) con Policloruro de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra.....	89
Tabla 29. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al3 +) con Policloruro de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Rosado	91
Tabla 30. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por Sulfato de aluminio.	93
Tabla 31. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla negra.....	94
Tabla 32. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por Sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.	95
Tabla 33. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla negra.....	96



Tabla 34. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.	97
Tabla 35. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio... 98	
Tabla 36. ANOVA para la para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla negra.	100
Tabla 37. ANOVA para la para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.	101
Tabla 38. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla negra.	102
Tabla 39. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.	103
Tabla 40. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NUT)	103
Tabla 41. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción del aluminio residual (Al)	107
Tabla 42. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el uso de floculante policloruro de aluminio para remoción de la Turbiedad (NTU)	110
Tabla 43. Análisis de varianza de la cantidad de floculante de Imilla negra y rosada con el policloruro de aluminio para remoción del Aluminio residual (Al)	112
Tabla 44. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con sulfato de aluminio y pH óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al).....	116



INDICE DE ACRÓNIMOS

UNT	: Unidades Nefelométricas de Turbiedad
Turb. (0)	: Turbidez inicial
Turb. (f)	: Turbidez final después del tratamiento
Ppm	: Partes por millón
Al₂(SO₄)₃	: Sulfato de aluminio
Fe(OH)₃	: Cloruro Férrico
Ph	: potencial de hidrógeno
NTP	: Normas Técnicas Peruanas
ASTM	: Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water
TSS	: Sólidos suspendidos totales
RVD	: Solución de los residuos vegetales deshidratados
LMP	: Limites Máximos Permisibles
UTM Mercator)	: Universal transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
%R	: Porcentaje de remoción
Al(0)	: Aluminio inicial
Al(f)	: Aluminio residual final después de tratamiento.
μS.cm⁻¹	: Microsiemens por centímetro.
Mg.L⁻¹	: Miligramos por litro.
g.Ml⁻¹	: Gramos por mililitro



RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo evaluar la remoción de turbiedad y aluminio residual en aguas naturales por coagulación-floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio con adición de floculantes ayuda, harina de papa deshidratada de la especie Imilla Negra e Imilla rosada; debido a los floculantes químicos utilizados producen aluminio residual que pueden producir desórdenes epidemiológicos neurológicos. En la metodología los floculante ayuda, harina de papa deshidratada es de malla 100, de activación ácido 1:1 p/v; con ácido nítrico 0.1M, agitados a 100 rpm/30 minutos, secado en estufa a 60°C, hasta peso constante, caracterizadas por Difracción de rayos X; Las pruebas coagulación- floculación fueron evaluadas por test de jarras, coagulación a 200 rpm/3 minutos, seguido por floculación a 20 rpm/20 minutos y sedimentación/20 minutos, en estas se evalúan las dosis óptimas, para remoción de turbiedad y aluminio residual. Los resultados reportan, la dosis óptima de $5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ del 1%, para la floculación para Sulfato y Policloruro de Aluminio y la dosis óptima de $5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ del 1%, para los floculantes ayuda. Concluyéndose que se obtuvo la mayor remoción de turbiedad (95,91%) y de aluminio residual (93,83%) a un pH óptimo de 7,3 utilizando floculante Policloruro de Aluminio con adición de floculantes ayuda de harina de papa deshidratada de variedad Imilla Negra; seguido de la remoción de turbiedad (93,88%) y de aluminio residual (93,83%) a un pH óptimo de 7,3 utilizando floculante Policloruro de Aluminio con adición de floculante ayuda de harina de papa de la variedad Imilla rosada.

Palabras Claves: Papa deshidratada, Aluminio residual, Activación química, Floculación, Floculante ayuda.



ABSTRACT

The objective of the work is to evaluate the removal of turbidity and residual aluminum in natural waters by coagulation-flocculation with aluminum sulfate and polyaluminum chloride with the addition of flocculants, dehydrated potato flour of the Imilla Negra and Imilla Rosa species; Due to the chemical flocculants used, they produce residual aluminum that can produce neurological epidemiological disorders. In the methodology, the flocculant helps, dehydrated potato is 100 mesh, acid activation 1:1 p/v; with 0.1M nitric acid, stirred at 100 rpm/30 minutes, dried in an oven at 60°C, until constant weight, characterized by X-ray diffraction; The coagulation-flocculation tests were evaluated by jar test, coagulation at 200 rpm/3 minutes, followed by flocculation at 20 rpm/20 minutes and sedimentation/20 minutes, in these the optimal doses were evaluated, for turbidity and aluminum removal. residual. The results report, the optimal dose of $5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ of 1%, for the flocculation for Aluminum Sulfate and Polychloride and the optimal dose of $5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ of 1%, for the flocculants helps. Concluding that the greatest removal of turbidity (95.91%) and residual aluminum (93.83%) was obtained at an optimum pH of 7.3 using flocculant Polychloride Aluminum with a complement of flocculants, aid of dehydrated potato flour of variety Imilla Negra; followed by the removal of turbidity (93.88%) and residual aluminum (93.83%) at an optimal pH of 7.3 using Poly Aluminum Chloride flocculant with supplements of flocculant aid from potato flour of the Imilla Rosa variety.

Keywords: dehydrated potato, residual aluminum, chemical activation, flocculation, help flocculant.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El agua, es el recurso natural indispensable y vital para las necesidades básicas de la humanidad; el agua natural procede de diversas fuentes de origen con diferentes impurezas contaminantes, por lo que es necesario su tratamiento antes de su consumo y uso; uno de los tratamientos prioritarios es la eliminación de sólidos suspendidos, coloides que producen la turbiedad en el agua y mediante procesos de coagulación–floculación, estas pueden ser remocionados, formando pequeños flóculos de mayor peso específico que sedimentan materiales en suspensión, obteniendo agua con características físicas y organolépticas idóneas para el consumo humano y otros usos, cuya eliminación de estos contaminantes deben enmarcarse a normas de estándares nacionales e internacionales de salud pública. Las plantas convencionales de tratamiento de aguas para consumo humano, de preferencia utilizan floculantes de sales minerales de aluminio para desestabilizar y remocionar coloides, sólidos en suspensión, limo y lodos. Los floculantes utilizados presentan riesgos de solubilización del aluminio que pueden presentar problemas en la salud de los consumidores debido al contenido de aluminio residual (Ochoa, 2003), este material inocuo es no deseado por presentar efectos secundarios en la salud humana, se tiene hallazgos epidemiológicos de enfermedades neurológicas como el Alzheimer (Molano, 2011); razón por el cual se propone disminuir el uso de estos coagulantes y cambiar por coagulantes naturales caso del uso de la papa deshidratada (harina de chuño), para utilizar como floculante primario o de ayuda, con el propósito de disminuir el uso de reactivos químicos en procesos convencionales de tratamiento de aguas; a esta realidad la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) recomienda reducir la concentración de aluminio a $0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, para cumplir con las normas de estándares nacionales (DS. 04 – 2017 MINAM Perú).



1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la capacidad de remoción de turbiedad, de Aluminio residual por floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio con adición de floculante ayuda de harina de papa deshidratada (harina chuño), en el proceso de floculación para tratamiento de aguas naturales para consumo humano?

1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- ¿En qué medida el tratamiento de agua por procesos de coagulación-floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio con uso de floculantes ayuda, harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la especie Imilla Negra e Imilla rosada, es adecuado para la degradación de turbiedad, aluminio residual y de la disminución de concentración de los floculantes, en el tratamiento de aguas naturales para consumo humano?
- ¿En qué medida, la determinación de pH es determinante en la remoción de turbiedad y aluminio residual de aguas naturales para consumo humano, utilizando floculantes sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, con adición de floculantes ayuda, harina de papa deshidratada de la variedad imilla negra y variedad imilla rosada?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

El proceso de floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, con uso de floculantes ayuda de harina de papa deshidratada (chuño), se remociona la turbiedad, los monómeros residuales de aluminio, con reducción de cantidad de floculantes en el tratamiento de aguas naturales para consumo humano.



1.3.2. Hipótesis específicas

- La caracterización de la harina de papa deshidratada (chuño) con y sin activación química, de las especies Imilla Negra e Imilla rosada, difieren como floculante ayuda, en el proceso de tratamiento de aguas naturales para consumo humano
- Es necesario determinar la concentración de dosis óptimo de los floculantes Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, por proceso de test de jarras con uso y sin uso de floculantes ayuda de harina de papa deshidratada (harina de chuño), para la remoción de turbiedad, de Aluminio residual y para la reducción de la cantidad del floculante en el tratamiento de aguas naturales para consumo humano.
- Es necesario determinar el pH óptimo para remocionar la turbiedad y aluminio residual de aguas naturales para consumo humano, utilizando floculantes de Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, con adición de floculantes ayuda, de harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra y variedad Imilla rosada.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En el proceso de potabilización de aguas, la clarificación de turbiedad es una de las etapas de mayor importancia ya que permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión tales como arcilla, limo y lodos; por lo que es necesario someter al agua a tratamientos previos a su consumo y uso; mediante procesos de coagulación-floculación. Las plantas convencionales de tratamiento de aguas para consumo humano, de preferencia utilizan floculantes de sales minerales de aluminio, para desestabilizar y remocionar partículas coloidales en suspensión como arcilla, limo y lodos; estos floculantes provenientes de sales minerales de aluminio que son utilizados por su solubilización, tienen altos riesgos por la ionización del aluminio, que pueden presentar



problemas en la salud de los consumidores debido al contenido de monómeros residuales de aluminio, componente químico de efectos secundarios en la salud humana, con hallazgos epidemiológicos de enfermedades neurológicas como el Alzheimer (Molano, 2011), en las últimas décadas en adelante se propone disminuir el uso de coagulantes convencionales y cambiar por el uso de polímeros orgánicos o de origen natural que presentan diferentes propiedades de alta viabilidad para formar geles, debido a su compleja estructura molecular y su gran capacidad de hidratación de alta idoneidad complejante que es responsable de la retención de iones metálicos, a diferencia de muchos compuestos coagulantes sintéticos (CEPIS, 2004), es así que en nuestro medio tenemos el floculante natural harina de papa deshidratada (chuño), utilizado como floculante ayuda para tratamiento de aguas, con el propósito de flocular, sedimentar los Aluminio residualy promover la reducción de la cantidad del floculante utilizado; trabajo de investigación que persigue demostrar que el uso de la harina de papa nativa deshidratada (chuño), de la especie Imilla Negra, (*Solanum tuberosum* ssp) y Ccompis, Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp), existente en nuestra Región Puno, puede ser utilizado como floculante ayuda eficaces, para la disminución de la concentración de aluminio soluble provenientes del uso de floculantes sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, en el tratamiento del agua natural para consumo humano.

Justificación científica: Para el proceso de tratamiento de aguas por floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, se utilizan como floculante de ayuda o auxiliar, harina de papa nativa deshidratada (chuño), con y sin activación química para remoción restante del monómero de aluminio solubilizado, remoción de turbiedad, y disminución de la cantidad de floculante utilizado, que cumplan con las normas nacionales de estándares de calidad ambiental del agua, ECA-LMP D.S. 004-2017-MINAM. Perú.



Justificación ambiental: Existe gran demanda del tratamiento de aguas naturales para consumo humano y la solución de problemas ambientales, apertura y da lugar a investigaciones para el empleo de diversos materiales naturales procesados para remover partículas coloidales en suspensión como arcilla, limo, lodos y monómero de aluminio solubilizado producto del proceso de floculación del agua, residuos que pueden presentar problemas en la salud de los consumidores y así mismo contribuir a mitigar impactos ambientales en la contaminación del agua para consumo humano.

Justificación social: La investigación contribuirá socialmente, porque al tener la tecnología para la remoción del contenido del monómero aluminio solubilizado en el agua para consumo humano, favorecerá a la disminución de la posible generación del mal epidemiológicos de enfermedades neurológicas como el Alzheimer, enfermedades que pueden afectar a la población humana, debido al uso y consumo de aguas con contenido de aluminio.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el proceso de coagulación-floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio y adición de floculante ayuda, harina de papa deshidratada (harina de chuño); para remoción de turbiedad y de aluminio residual en el tratamiento de aguas naturales para consumo humano.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la harina de papa deshidratada (chuño) con activación química ácido y sin activación, de la especie Imilla Negra, (*Solanum tuberosum* ssp) e Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp), procedente de la región Puno, como floculante de ayuda, para el proceso de tratamiento de aguas naturales para consumo humano.



- Determinar por proceso de test de jarras, la concentración óptima de dosis de los floculantes Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, con adición de floculante ayuda, de harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra y variedad Imilla rosada; con activación química ácida para remoción de turbiedad y Aluminio residual en el tratamiento de aguas naturales para consumo humano.
- Evaluar por proceso de floculación por test de jarras, el pH óptimo para remoción de turbiedad y aluminio residual de aguas naturales para consumo humano, utilizando floculantes de Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, con adición de floculantes ayuda, de harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra y variedad Imilla rosada.



CAPITULO II.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO.

2.1.1. Aguas Naturales Continentales

Las aguas continentales corresponden a ríos, lagos, glaciares y aguas subterráneas, aquellas que se localizan en los continentes y que han perdido su salinidad mediante evaporación, pues al pasar al estado gaseoso de ellas se desprende cualquier sustancia sólida, purificándose de manera natural. Por esta cualidad también se les llama aguas dulces, además de ser potables y tener un sabor dulce para el ser humano. (Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC. 2008).

2.1.2. Los metales en el ciclo del agua.

Cuando se habla de metales en el ciclo del agua incluimos en sentido amplio Al, Fe, Mn, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni y Ag, así como algunos no metales, como As, Se y Sb normalmente ligados al mismo ciclo en la naturaleza. Este conjunto de elementos químicos se encuentra en pequeñas concentraciones en el agua ($\text{mg} \cdot \text{L.}$) por lo que la mayoría de organismos vivos se han adaptado a lo largo de su evolución a estas concentraciones y tanto su escasez como más habitualmente su exceso puede perjudicar seriamente la salud humana y de los ecosistemas. Químicamente los metales se caracterizan por reaccionar con átomos que poseen electrones libres. Estos átomos ‘donan’ parte de su densidad electrónica a los metales para formar enlaces estables. Los elementos donadores de electrones más relevantes son el oxígeno y el azufre. Por eso los metales se encuentran en la naturaleza sobre todo como óxidos y sulfuros. Más que su abundancia global, la clave para comprender el comportamiento de los metales en el ciclo del agua es conocer su movilidad en la misma y su fijación en los sólidos. Así, por ejemplo, el Al y el Fe son dos de los elementos más abundantes en la corteza terrestre y



sin embargo su concentración en la mayoría de las aguas naturales es muy baja. (Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC. 2008).

2.1.3. Aluminio

El aluminio es un metal plateado muy ligero. Su masa atómica es 26,9815, tiene un punto de fusión de 660°C y un punto de ebullición de 2,467°C, y una densidad relativa a 2,7 kg/m³. Es un metal muy electropositivo y extremadamente reactivo, al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que lo protege de la corrosión. Asociación Española del Aluminio. (2008).

2.1.4. Aluminio en el Agua

Todas las aguas contienen aluminio ya que este es un componente natural de las aguas superficiales y subterráneas, En aguas neutras está presente como compuestos insolubles, y en aguas altamente ácidas o alcalinas se puede presentar en solución. Algunos estudios epidemiológicos han investigado la posible relación entre el aluminio en el agua y la Enfermedad de Alzheimer. (Asociación Española del Aluminio. 2008).

2.1.5. Turbiedad.

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etc.). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas por lo que reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas para la evaluación de la turbiedad son, por lo general, las unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

La turbiedad es evaluada como un parámetro físico de respuesta en unidades de turbiedad, en cada caso, se evalúa la eficiencia del proceso en porcentaje de remoción, por la ecuación que se expresa:



$$\% \text{ Remoción Turbidez} = \frac{\text{Turb (o)} - \text{Turb (f)}}{\text{Turb (o)}} 100$$

Donde.

Turb. (o) = Turbidez inicial

Turb. (f) = Turbidez final después del tratamiento

La turbidez del agua es la propiedad óptica de la muestra, que causa a que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en vez de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra de agua. En el agua la turbiedad es causada por la presencia de partículas disueltas en suspensión, de gases, otros líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con tamaños de partículas macroscópicas y coloidales, dependiendo del nivel de turbulencia. La turbiedad es medida mediante un turbidímetro de tipo nefelométrico que se basa en la evaluación del efecto Tyndall. Una unidad de turbiedad, es definida "como la obstrucción óptica de la luz, causada por una solución de un miligramo por litro de sílice en agua destilada", la unidad nefelométrica de turbidez (NTU) equivale a 7,5 ppm de SiO₂. (Cabrera et al., 2009)

2.1.6. Agrupamiento de partículas en la floculación.

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floculo, debido a la adición de una cantidad suficiente de coagulante, habitualmente estas son sales de metales trivalentes, así tenemos el sulfato de aluminio Al₂(SO₄)₃, o Cloruro Férrico FeCl₃; el flóculo que se forma está integrado por moléculas de sus respectivos hidróxidos de Al(OH)₃ o de Fe(OH)₃. La presencia de ciertos aniones y de partículas coloidales que se encuentran alrededor de los hidróxidos acelera la formación de la sedimentación.

2.1.7. Factores que influyen en la coagulación – floculación.

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores, con la finalidad de optimizar el proceso de sedimentación: El pH, Turbiedad, Sales disueltas, Temperatura del agua,

Tipo de coagulante utilizado, Condiciones de mezcla, Aplicación de los coagulantes, Tipos de mezcla y el color.

Influencia del pH.

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

a:
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

El pH es la variable más importante que se debe tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar a su rapidez, y todo depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. En el proceso de coagulación-floculación se consideran los niveles de pH según el uso del coagulante. (Miranda. 2012)

Tabla 1. pH óptimo para la Coagulación - Floculación

Catión	pH óptimo para la Coagulación – Floculación
Al^{+3}	6,5 – 8,0
Fe^{+3}	5,5 – 8,5

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Influencia de la temperatura.

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

Influencia de la dosis del coagulante.

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



- La poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula y la formación de los micro flóculos es escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
- El exceso de la cantidad del floculante produce la inversión de la carga de la partícula, que conduce a la formación de gran cantidad de micro flóculos de tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente incrementada.
- La selección del floculante y la cantidad óptima de su aplicación; se determina mediante ensayos de pruebas de jarra.

2.1.8. Sulfato de Aluminio

El Sulfato de Aluminio Tipo A es una sal inorgánica, que contiene 14 moles de agua, es manufacturada a partir de una fuente de aluminio libre de hierro y ácido Sulfúrico; cuando el pH del agua es débilmente ácido, neutro o débilmente alcalino, el aluminio sedimenta arrastrando las partículas en suspensión, dejando el agua transparente.

Características del producto:

Nombre comercial: Sulfato de aluminio granulado tipo a

Peso molecular: $594.14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Formula química: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

Apariencia: cristales de color blanco/soluble en agua

Aplicaciones: Es ampliamente usada en el tratamiento de aguas como coagulante en la mayoría de los procesos hidrodinámicos de separación de sólidos, en especial de las partículas coloidales. Debido a ello cumple con las normas internacionales



para productos químicos para el tratamiento del Agua ANSI/AWWA B403-93.
(Industrial y Comercial Química Andina S.A.C. R.U.C.: 20100295891- Perú)

2.1.9. Policloruro de Aluminio

El nombre químico específico es el polihidroxiclоро sulfato de Aluminio, que es un derivado polimérico del aluminio. Los beneficios de este nuevo coagulante son: Tiene una mejor formación de flóculos, a un amplio rango de pH, genera una menor cantidad de lodos y tiene la propiedad de usar poca o ninguna cantidad de polielectrolitos.

Hoja de especificaciones técnicas:

Nombre Químico Genérico:	Policloruro de Aluminio
Nombre Químico Específico:	Polihidroxiclоро sulfato de Aluminio
Nombre Comercial:	Polifloc – Tipo PACSO 100 - AR
Fórmula Química Aproximada:	$[Al_n(OH)_m(SO_4)_p (Cl_{3n-m-2p})]$

Las especificaciones Técnicas descritas para el producto cumplen las Normas Técnicas siguientes: Peruana NTP 311.333.1999, USA ANSI/AWWA B408 – 98 y European Standard DIN – EN 881:1997

Aplicaciones

- Coagulante primario y floculante en el tratamiento de aguas para consumo humano e industrial.
- Floculante en el tratamiento de aguas residuales y servidas.
- Impermeabilizante de concreto y de superficies asfálticas de carreteras, (Industrial y Comercial Química Andina S.A.C. R.U.C.: 20100295891- Perú)

2.1.10. Método de evaluación de la floculación por test de jarras

- **Ensayos en laboratorio - test de jarras:**

El ensayo de test de jarras se utiliza para determinar la dosis óptima efectiva del coagulante para un agua específica, durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento de agua potable o para el tratamiento de agua residual, especialmente cuando la calidad de turbiedad del agua fluctúa rápidamente. También se puede utilizar con el objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de reactores sedimentadores y conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa. (Miranda. 2012).

- **Metodología ocupada en el ensayo**

La metodología se basa en la norma ASTM D2035-80 (2003) “Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water”, en la que señala la forma de preparación de las soluciones que se van a ocupar en el ensayo de Test de Jarras.

A continuación, se muestran algunas de las soluciones típicas que se preparan para un ensayo de Test de Jarras.

Tabla 2. Concentraciones típicas para soluciones coagulantes

Reactivo Químico	Concentración Solución Madre	Duración de la solución	1 mL, en un litro de la solución equivale a
Sulfato de Aluminio	1%	1 mes	10 mg $Al^{+3} \cdot L^{-1}$
Cloruro Férrico	1%	2 meses	10 mg $Fe^{+3} \cdot L^{-1}$
Cal	1%	1 mes	10 mg $\cdot L^{-1}$
Poli electrolito	0,05%	1 semana	0,5 mg $\cdot L^{-1}$
Ácido sulfúrico	0,1N	3 meses	4,9 mg $\cdot L^{-1}$

Fuente: Elaboración propia

Por ejemplo, para un ensayo específico al utilizar Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot (14H_2O)$ como solución coagulante preparado al 1% de concentración y de la relación indicada en la tabla anterior se tiene que 1 ml de Sulfato de Aluminio al 1 %, equivale a 10 mg $\cdot L^{-1}$ de Al^{+3} .



2.2. MARCO CONCENCEPTUAL

2.2.1. Partículas en suspensión.

En una fuente de agua superficial las partículas en suspensión provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de aguas residuales domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas (arcillas, partículas de lodo orgánico-inorgánico), por lo tanto, el color está formado por las partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal como por ejemplo de hierro o de manganeso. (Miranda. 2012).

2.2.2. Los coloides.

Los coloides son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida. Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicos (de afinidad por el agua) e hidrófobos (que rechazan al agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos. Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas; y de estas se obtienen partículas hidratadas a diferentes grados.

2.2.3. Carga eléctrica y doble capa en partículas coloidales.

En el agua superficial, se tienen partículas coloidales, componentes que son causantes de la turbiedad por lo que se requiere el tratamiento del agua para la remoción de estas partículas coloidales, que generalmente estas poseen cargas eléctricas negativa

situadas en la capa superficial de la partícula, responsables de atraer a los iones positivos de sustancias del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas coloidales que generalmente son la atracción alrededor de los iones negativos una débil cantidad de iones positivos.

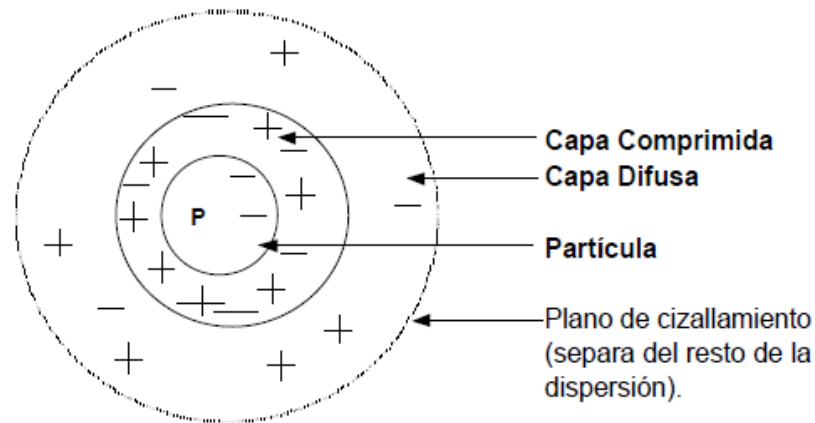


Figura 1. Doble capa de Cargas eléctrica de una partícula coloidal.

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula coloidal estas se desplazan con ella, forman una capa adherida o comprimida, y los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo que se genera una gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta.

2.2.4. Tratamiento de Aguas por floculación

Para el tratamiento de aguas es posibles de ser sometidos a diferentes procesos, que pueden ser tratamientos físicos, químicos, físico-químico y biológicos; cuyo objetivo es la reducción de contaminantes de características no deseables de las aguas, la finalidad del proceso es obtener agua con las características adecuadas para el uso que se le quiera dar y debe tenerse en cuenta que el proceso de tratamiento de agua varía en función de las propiedades iniciales de contaminación del agua y el destino de su uso final, para el cual uno de los procesos primarios de tratamiento del agua es por procesos de coagulación-floculación.



2.2.5. Procesos de Coagulación y Floculación.

En principio de la coagulación y floculación, el coloide que está en suspensión es de alta estabilidad y es el responsable que genera la turbiedad y color en el agua, que difícilmente son sedimentables.

Los procesos comúnmente utilizados para remoción de la turbiedad del agua, son los procesos de coagulación y floculación por su facilidad de operación y por sus bajos costos. Primeramente, se produce la coagulación que se fundamenta en la adición de agentes químicos llamados coagulantes, que desestabilizan eléctricamente las partículas coloidales, neutralizando parcialmente sus cargas electrostáticas y al mismo tiempo producir una compresión de la capa difusa que rodea a los coloides; el proceso es seguido por la floculación, donde se produce la formación de aglomeraciones llamadas flóculos. (Mazille. 2016).

2.2.6. Coagulación

Es la primera etapa de tratamiento del agua para su clarificación debido a que el objetivo primordial de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión en la masa del agua, para producir su aglomeración mediante la adición de coagulantes químicos para lo cual se debe aplicar alta energía de agitación para su mezclado, con el objetivo de desintegrar las materias en suspensión estables y de esta manera en la coagulación no sólo se desestabiliza las cargas de la turbiedad sino también la concentración de materia orgánica y de microorganismos. Concluyéndose que en la coagulación se produce la desestabilización química de las partículas coloidales que se producen por la neutralización de las cargas eléctricas o de las fuerzas que los mantenían separados. La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo el colapso de la "nube de iones" que rodean a los coloides buscando su aglomeración que en una segunda etapa esta es llamada floculación. Se debe considerar que la



determinación de la dosis del coagulante condiciona fundamentalmente floculación y la sedimentación de los flóculos formados y es imposible de realizar una clarificación del agua, si no se ha determinado adecuadamente la cantidad del coagulante.

Los coagulantes más utilizados para desestabilizar las partículas y producir los flóculos en el agua, tenemos:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Policloruro de aluminio
- e) Cloruro Férrico.
- f) Sulfato Férrico.
- g) Sulfato Ferroso.
- h) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

Las sales más utilizadas, son sales con componentes de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen reacciones complejas, donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles, las que forman la sedimentación de los flóculos.

- **Mecanismo de coagulación**

En el proceso de coagulación se presentan cuatro mecanismos fisicoquímicos para la formación de los floculos; teniéndose los mecanismos de: absorción y neutralidad de cargas, captura de precipitado o barrido, absorción y puente Inter particular y compresión por doble capa.

- ✓ **Absorción y Neutralidad de Cargas**



En este proceso de coagulación los coloides poseen cargas primarias negativas en su superficie que atraen cargas positivas de otras partículas sólidas que se encuentren en el agua; estas al adherirse forman una capa alrededor del coloide. Al adicionar el coagulante que generalmente es inorgánico, se desestabiliza las cargas frente al coloide y cuando se adiciona en exceso el floculante, ocurre la inversión de carga a la original y por lo tanto no ocurre el proceso de coagulación.

✓ **Captura de precipitado o barrido**

Este proceso se presenta para bajos niveles de turbiedad, al adicionarse el coagulante al agua, el agente coagulante atrapa el coloide para la posterior formación de una red tridimensional y generación de flóculos, para este proceso generalmente se utilizan como coagulantes sales trivalentes como el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, el Cloruro Férrico FeCl_3 , que forman hidróxidos de la sal respectiva, para aumentar la formación de flóculos y su sedimentación respectiva. Si se tienen altas concentraciones de turbiedad, por lo tanto también se requieren mayores concentraciones de coagulante.

✓ **Adsorción y puente Inter particular**

Este proceso de tratamiento utiliza como coagulante moléculas poliméricas de alto peso molecular, que reaccionan con la superficie del coloide produciéndose un proceso de adsorción. El polímero en el proceso de coagulación forma puentes con las partículas coloidales y debido a su tamaño absorben más partículas coloidales.

✓ **Compresión de doble Capa**

Al reunirse partículas semejantes en su carga, en estas se producen repulsiones con un potencial de esparcimiento que es dependiente de la distancia



que las separa, al adicionarse un coagulante esta fuerza disminuye debido a que este proporciona iones de carga contraria que los atrae por las Fuerzas de Van der Walls; proceso que depende de la densidad de la partícula y de los átomos que las constituyen.

2.2.7. Floculación

El proceso posterior a la coagulación es la floculación, en cuya etapa la operación de mezclado debe ser lento, en este proceso los flóculos aumentan de tamaño, desde un micro flóculo submicroscópico hasta partículas suspendidas visibles, debido a que los micro flóculos se ponen en contacto entre sí a través del proceso de mezclado lento. Las colisiones de las partículas de los micro flóculos hacen que agrupen para producir flóculos de mayor tamaño y visibles. El tamaño de los flóculos continúa aumentando a través de colisiones e interacciones adicionales con polímeros inorgánicos formados por el coagulante o con polímeros orgánicos en las que se forman macro flóculos. Durante este paso se pueden agregar polímeros de alto peso molecular, llamados coadyuvantes de floculación o floculantes ayuda para, unir y fortalecer el flóculo con incremento en su peso y de esta manera aumentar la velocidad de sedimentación. Una vez que los flóculos han alcanzado su tamaño y fuerza óptimos, el agua está lista para el proceso de separación por sedimentación, flotación o filtración. Los tiempos de contacto de floculación van desde 15 o 20 minutos hasta una hora o más. (Miranda. 2012)

- **Floculantes**

Los floculantes son polímeros o poli electrolitos con elevados pesos moleculares, y estas moléculas orgánicas son solubles en el agua, que forman bloques denominados monómeros, los que se encuentran en formas repetidas formando cadenas largas. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.



- a) **Floculantes Minerales:** Dentro de estas se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplearse, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad por el silicato de sodio en solución.
- b) **Floculantes Orgánicos Naturales:** Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.

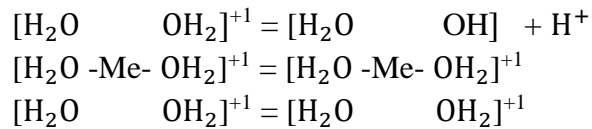
Los alginatos, cuya estructura polimérica son:

Los ácidos manuránicos y los ácidos glucónicos responsables de la floculación.

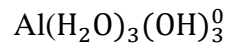
- c) **Floculantes Orgánicos de Síntesis:** Son los más utilizados y estas son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 10^6 a $10^7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:
- Aniónico (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
 - Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).
 - Catiónico (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

• **Coagulantes metálicos inorgánicos**

Para el tratamiento de aguas por coagulación-floculación convencional, son procesados con el uso de coagulantes inorgánicos de sales de aluminio, de hierro y sales pre hidrolizadas de estos metales que se encuentran en estado sólido o en solución líquida, para su uso en el tratamiento de aguas y estos coagulantes de iones de aluminio y de hierro al ser agregados al agua estas se disocian para producir iones trivalentes Al^{+3} o Fe^{+3} , los iones trivalentes se hidratan para formar sus respectivos complejos acuometálicos, así tenemos caso de las sales de aluminio $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$; en esta ecuación se muestra que el ion metálico tiene un número de coordinación de 6 y las moléculas de agua complejizadas suelen perder protones, como se puede observar en la siguiente reacción:



Estos complejo acuometálicos posteriormente continúan perdiendo protones adicionales para formar diversas especies mononucleares solubles que precipitan como flóculos de hidróxido que se han formado:



En esta precipitación del floculo de hidróxido de aluminio Al^{+3} se remociona el ion metálico insoluble de aluminio. (Howe et al., 2017)

2.2.8. Sedimentación

La operación de sedimentación es utilizada para separar las partículas sólidas dispersas en un líquido mediante la conglomeración de ellas, debido a la diferencia de sus densidades entre las partículas sólidas y el líquido, aunque éste último tenga un movimiento ascendente, las partículas sólidas logran sedimentar, depositándose en el fondo del recipiente, donde son eliminadas en forma de lodos. Se debe tener en cuenta que la viscosidad del líquido detiene la sedimentación de las partículas sólidas, que deben vencer el rozamiento con el líquido en el movimiento de caída.

2.2.9. Modificación de pH, en la floculación

La transformación de los iones aluminio (Al) en hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$ es uno de los mecanismos más utilizados para remoción de impurezas coloidales del agua. Al adicionarse al agua, coagulantes de sales de aluminio, en esta se facilita la formación de hidróxido de aluminio tri-hidratado, esto usualmente se logra por la presencia del anión bicarbonato en el mismo medio acuoso; es decir, se requiere suficiente alcalinidad para dicho proceso y de esta manera, se inicia la formación de una fase (hidróxido de aluminio) ligeramente insoluble en el agua, la cual es controlado por el valor de pH y la concentración del anión bicarbonato.

El nivel de absorción del aluminio en el agua es función de varios parámetros, así tenemos el tipo de la sal de aluminio administrada, el pH (que influye en la solubilidad del aluminio) y la biodisponibilidad. En condiciones de un medio ácido del agua, en estas se tienen altas concentraciones de aluminio y se trata de precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales; para lograr este objetivo se requiere ajustar el pH del agua para lograr pasar el aluminio de un estado soluble a insoluble y así obtener su precipitación mediante un ajuste del pH en medio básico con hidróxido de calcio o soda cáustica, hasta obtener un margen insoluble en el agua que generalmente se logra a un pH entre 6.5 y 8. (WQA, 2014).

2.2.10. Papa deshidratada chuño:

Tubérculo de papa deshidratado sin cáscara, es de color pardo oscuro, procesado mediante sucesivos congelamientos y secado con exposición al sol. En la tabla 3, se muestra los componentes proximales del chuño, papa deshidratada. (Norma Técnica Peruana (2007).

Tabla 3. Composición química del Chuño de Papa

Por 100 g.	
Porción comestible	Unidad
Energía (kcal.)	323
Agua (g.)	18,1
Proteína (g.)	1,9
Grasa (g.)	0,5
Carbohidrato (g.)	77,7
Fibra (g.)	2,1



Ceniza (g.)	1,8
Calcio (mg.)	92,0
Fosforo (mg.)	54,0
Hierro (mg.)	3,3
Retinol (mcg.)	0,0
Tiamina (mg.)	0,03
Riboflavina (mg.)	0,04
Niacina (mg.)	0,38
AC. Ascorbico (mg.)	1,1

Fuente: ITINTEC. Norma Técnica Peruana (2007).

2.2.11. Almidones nativos modificados

Los procesos de modificación de los almidones se realizan para producir funcionalidades específicas deseadas mediante cambios en sus propiedades para así obtener mejores productos. Los almidones modificados son numerosas, funcionales y de gran uso en el campo industrial y alimentario. El proceso de las modificaciones del almidón puede obtenerse mediante procesos químicos, físicas (enzimáticas). La modificación química comprende la oxidación, acetilación, cationización, formación de enlaces cruzados, estabilización y otros, se debe a la adsorción de agua fría. (Ayala, 2004)

2.2.12. Oxidación de almidones

La calidad del almidón se puede mejorar por procesos de oxidación, mediante procesos químicos, físicas, microbiológicas o por combinación de ellas. Los agentes oxidantes más utilizados para este propósito son: el permanganato de potasio, bromato de potasio, dicromato de potasio, hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio y algunas veces también ácido perclórico. (Guzmán, 2014. Anabel, 2010). En el caso específico de la

reacción del almidón con hipoclorito de sodio, como resultado se tiene el almidón oxidado formando su sal respectivamente ver (figura 2), en esta se muestran los grupos $-OH$ cuyas posiciones de los carbonos C2, C3 y C6 de cada unidad de α -DGlucopiranosil son disponibles para participar en otras reacciones (figura 3). Es importante indicar que primeramente los grupos hidroxilos son oxidados a grupos carbonilo ($C=O$) y posteriormente a grupos carboxilo (COO^{-1}). El grado de sustitución en la oxidación del almidón es función de la cantidad presente de grupos $C=O$ y COO^{-1} (número de grupos carbonilo y carboxilo por cada 100 unidades de anhidro glucosas). El almidón modificado presenta cierto grado de hidrólisis en soluciones acuosas, dando como resultado pastas fluidas que mejoran la sedimentación de otros solidos presentes en solución, debido a la presencia de los grupos funcionales (carbonilo y carboxilo) que cumplen un papel importante en la estabilización de moléculas orgánicas e inorgánicas. (Rivas, 2006)

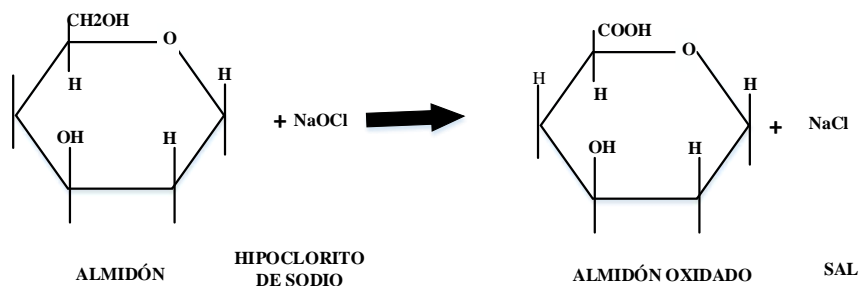


Figura 2. Reacción de Oxidación del Almidón con Hipoclorito de sodio

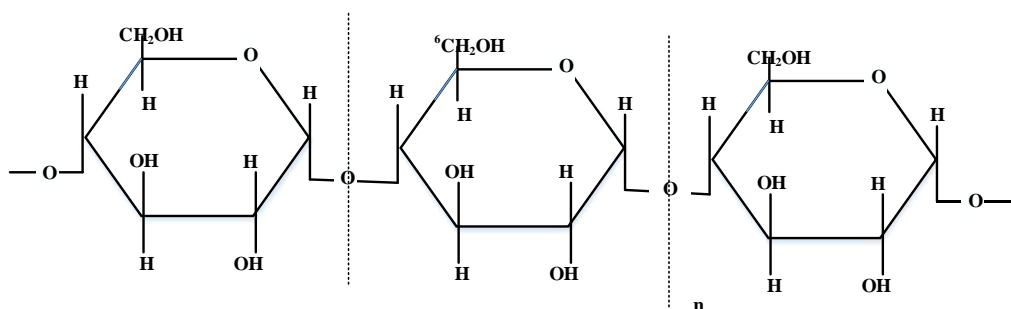


Figura 3. Grupos Hidroxilos sustituidos en la Oxidación del Almidón



2.3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

Guo et al., (2015) en su trabajo de investigación utilizó como bio floculante el almidón de patata, para el tratamiento de aguas residuales, en las pruebas obtuvieron un rendimiento en la eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) y eliminación de turbidez que alcanzaron a 52,4 y 81,7%, respectivamente, proceso a pH 7,5 con dosis del biofloculante de concentración a $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

Dirk et al., (2006) en el estudio investigaron sobre la eficacia de floculación de la turbiedad en el agua, con tratamiento de derivados de almidón catiónicos de varios grados de sustitución (DS) preparados a diferentes relaciones de amilosa/amilopectina, mediante método de flujo de fraccionamiento combinado con dispersión de luz multi-ángulo y refractometría interferométrica para obtener derivados de almidón catiónico, mediante tratamiento con 0,1% de cloruro de 2-hidroxi-3-trimethylammoniumpropylstarch, para reducir su DS. Se tomó $0,1 \text{ m}^3$ de volumen de los derivados catiónicos de almidón y se disolvieron en una solución acuosa de $0,001 \text{ m}^3$ de NaNO_3 mM, el cual se agitó por 1 h a $60,7 \text{ }^\circ\text{C}$; por 24 horas a temperatura ambiente. Se preparó una solución del 0,4% (w / w), solución que se utilizó para los experimentos de floculación para un volumen de 100 mL de agua turbia, obteniéndose altos rendimientos de floculación para eliminación de turbiedad del agua.

Yang et al., (2014) caracterizaron el almidón de arroz y evaluaron el rendimiento para procesos de coagulación-floculación fundamentando la sustitución de coagulantes inorgánicos para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales del proceso de obtención de aceite de palma. Se encontró que la eliminación de los sólidos suspendidos totales (TSS) del agua residual, fueron de cercanos para el proceso de floculación con almidón de arroz al igual que con el proceso con alumbre. Se compararon el uso de solución de alumbre de $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, a velocidad de agitación a 10 rpm, a temperatura



ambiente, con el cual se logró la eliminación del 84,1% de TSS a pH 3,5. La mejora la eliminación de TSS que fue del 88,4%, con una dosis de almidón de arroz de $0,55 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Jian et al., (2013) determinaron que en el tratamiento de aguas para consumo humano y de aguas residuales por proceso de floculación, para el cual se utilizó un floculante preparado a base de un copolímero – almidón soluble en agua, StCsol- PDMC (almidón injerto- poli (2-metacrililoiloxietil) cloruro de trimetil amonio), con el cual se reportó una capacidad de floculación eficaz, para suspensiones de caolín del 0,25% en peso, en comparación al almidón y a la poliacrilamida como control. Se concluye que al ser neutralizado la carga del almidón al ser sintetizado para obtener el StC- sol- PDMC, con incremento de su peso molecular del copolímero, mejoró sus propiedades como floculante en el tratamiento de aguas, con uso a bajas dosis del floculante sintetizado.

Shahzad et al., (2015) en su investigación utilizan el almidón de patata como coagulante para la eliminación del color del tinte de aguas residuales de textiles. El principal objetivo del trabajo fue desarrollar un proceso viable para la eliminación de colorantes y del color de las aguas residuales textiles, utilizando como floculante el almidón de patata, que es un bio-polímero, los experimentos se llevaron a cabo mediante prueba de jarras. Los mejores resultados se obtuvieron a pH 3, para la mejor neutralización de la carga contribuye para una alta eficiencia del proceso. El almidón de patata se dosificó al 2% y se demostró como una tasa de dosificación suficiente y se mostró que la temperatura resultó ser un parámetro significativo, obteniéndose los mejores resultados a temperaturas altas de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ que presenta ser suficiente para descomponer los enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares entre las cadenas de polímero, con el objetivo de obtener la unión de hidrógeno con moléculas del colorante para su afinidad y adsorción. El lodo obtenido debe ser tratado biológicamente o disponer de manera segura.



WQA, (2014) consideran que para el estado de la remoción del aluminio en agua para consumo humano es importante eliminar el aluminio que se encuentran como trazas en el agua y que este elemento forma parte de muchos agentes coagulantes o floculantes que se emplean en potabilización de agua. Cuando se presentan niveles altos de este elemento, es recomendable determinar si la fuente del mismo es de origen natural o antropogénico. En el caso de que el aluminio fuera de origen natural, se debe tomar en cuenta en qué forma se encuentra el aluminio, así tenemos en la forma de silicatos, tales como Feldespato (KAlSi_3O_8), los cuales son minerales muy comunes en la corteza terrestre, también se tiene el óxido de aluminio, conocido como bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), es la principal mena del aluminio utilizada por la industria, los posteriormente puede incorporarse a fuentes naturales de agua en forma de aguas residuales.

Herrera, (2015) evaluó el almidón de papa en procesos de floculación para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Para el proceso se activó el almidón de papa nativa mediante oxidación para obtener producto catiónico tomando una suspensión al 20 % de almidón con agitación constante por 15 minutos a 35 °C, a esta solución se adiciono NaOCl del 2,0 % de cloro activo (p/v) con un ajuste de pH a 9,5; utilizando NaOH 0.1 N; seguidamente se dejó en reposo por una hora y posteriormente se neutralizó a pH 7 con HCl 0,1N, seguidamente se lavó por dos veces con agua destilada, se secó en estufa a 35 °C por 48 horas; el almidón obtenido se pulverizo y tamizó; con el producto de almidón obtenido se realizaron ensayos por test de jarras para determinar la concentración y dosis óptima de la floculación; con el almidón de papa nativa modificada se obtuvo resultados de floculación próximos al proceso con sulfato de aluminio, para la remoción de turbiedad y color. Los resultados señalan que el almidón de papa, viene a ser una buena alternativa técnica para procesos de coagulación-floculación, teniéndose en cuenta a que es una



opción tecnológica adaptable, viable y flexible a las condiciones de operación en las PTAR convencionales.

Paca, (2017) evaluó el comportamiento de floculación en residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, concluyendo que estos residuos se comportan como coagulantes naturales para tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Los residuos vegetales se sometieron a una deshidratación en bandejas y su posterior pulverización y al ser evaluados presentaron alta cantidad de almidón (58% al 66%), con propiedades aglutinantes y floculantes. Los parámetros turbiedad, conductividad, pH, color, DBO5, DQO, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales y sólidos totales del agua residual láctea sin tratamiento, al ser evaluados reportaron valores de límites máximo permisibles fuera a los permitidos según normas nacionales establecidos para la descarga a un cuerpo receptor de agua dulce. La dosis óptima de la solución de los residuos vegetales deshidratados (RVD) oscila entre 0,7 a 1, $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ a concentración del 10%, para residuos vegetales (papa, camote, yuca y plátano). En la selección del RVD, el mejor coagulante fue el del residuos de plátano, evaluado en prueba de jarras, a pH de medio ácido y en pruebas realizadas sin modificar el pH, en medio alcalino presentaron notable disminución de los SST de una concentración de 4 600 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ a 103,67 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y para los ST de 5 320 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ a 915,66 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Másmela, (2017) evaluaron el almidón de yuca (manihot esculenta) y en almidón de plátano (musa aab simmonds), en procesos de coagulación y floculación para tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de occidente, en Bogotá D.C. Colombia. Consideraron los parámetros de: pH, color, turbiedad y SST, para evaluar la capacidad de coagulación del almidón de yuca y de plátano, para determinar la dosis óptima para eliminar la turbiedad coloidal en el agua se utilizó el método del índice de Willcomb. La dosis óptima del almidón de yuca fue de 20 mL del 2%, para disminuir



la turbiedad de 252 FAU, hasta 60 FAU residual y el color de 508 a un 104 residual (455 nm PtCo), SST de 62 a 20 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) a un pH de 11,45 obteniéndose una eficiencia máxima de 23,8% de eliminación de turbiedad. La dosis óptima del almidón de plátano fue de 18,5 mL, del 2%, obteniéndose una turbiedad remanente de 52 FAU, color residual de 47, SST de 59 a 22 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) a un pH de 11,29; obteniéndose una eficiencia total de 60,6% de eliminación de turbiedad. Las pruebas de la dosis óptima se compararon con la del Hidroxicloruro de Aluminio de 0,5 mL, de concentración de 180 ppm, con el cual se obtuvieron una turbiedad remanente de 15 FAU, color residual de 101, SST de 12 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) a un pH de 10,65; con una eficiencia total de 88% para la eliminación de turbiedad. La investigación determino que los coagulantes de los almidones evaluados pueden ser utilizados como co-ayudantes en el proceso de coagulación.

Paca, (2018) en su trabajo de Obtención del polisacárido (almidón) de la cáscara de plátano seda (*musa paradisiaca* L), este producto almidón utilizo como coagulante natural, para el tratamiento de aguas del río monjas e indica que las características fisicoquímicas de los residuos del plátano seda (*musa paradisiaca* L) son adecuadas para obtener amilosa como coagulante, mostrando que no confiere olor al agua, por lo que se puede utilizar como floculante para el tratamiento de aguas para consumo humano. Se requiere concentraciones altas de amilosa para conseguir su acción de coagulante, en comparación a los coagulantes inorgánicos. La amilosa muestra resultados de baja efectividad en el tratamiento de aguas superficiales de alta turbidez, por lo que se puede utilizar como mezcla de coagulante para reducir el uso del policloruro de aluminio o del sulfato de aluminio, para incrementar su acción coagulante.

Alvarado, (2011) evaluó el uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas Potables de la Planta “La diana”, Duitama, Colombia; se compararon mezclas de cáscaras de papa y sulfato de aluminio, la formulación adecuada



como agente coagulante en el tratamiento de aguas potables, manteniendo el pH, color y turbiedad y mediante prueba de jarras se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio ($8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), en la clarificación de una muestra de agua de color de 41 UPC, turbiedad de 2 UNT y pH de 7,76. Se comparó con otras formulaciones de cáscaras de papa y sulfato de aluminio, la mayor reducción de color se obtuvo con 2,5 g de cáscaras de papa a pH 7,46; los dos parámetros evaluados se encuentran dentro de los valores exigidos por la norma nacionales. La remoción de turbiedad fue igual en todos los tratamientos.

Molano, (2018) evaluó el almidón de papa gelatinizado como floculante para tratamiento de aguas residuales domésticas; mediante ensayos de prueba de jarras comparando con los coagulantes, de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, y con dos floculantes ayuda, poliacrilamida aniónica y almidón gelatinizado; con variaciones de dosis, concentración y velocidad de reacción; parámetros que fueron utilizados para evaluar la reducción de las variables respuesta de: turbidez y demanda química de oxígeno. De las pruebas realizadas el mejor tratamiento fue con policloruro de aluminio y floculante ayuda de poliacrilamida aniónica, obteniéndose una reducción de 83,05% de DQO. Respecto a ensayos de prueba de jarras con el coagulante sulfato de aluminio de $255 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ a 210 rpm, con agitación por 1 minuto, muestra una reducción del 89% de DQO y pruebas realizadas con el floculante almidón gelatinizado al 0,3%, de una dosis de $450 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ a 40 rpm por 20 minutos de agitación y con sedimentación por 15 minutos, se alcanzó la reducción del 65,60% de DQO; las evaluaciones se realizaron en un efluente industrial alimentario, cumpliendo con los VMA D.S. N°021-009-Vivienda, Perú, obteniéndose agua apto para descarga al alcantarillado. Los resultados sugieren que se puede reemplazar a la poliacrilamida aniónica por el almidón de papa para un tratamiento primario.



Chalco, (2016) desarrollo su trabajo de investigación para determinar la eficiencia de coagulación de aguas naturales utilizando almidón de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad Canchán, que se utilizó como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio para la remoción de turbiedad del agua del río Caplina”. Se preparó muestras de agua con turbiedad de 70, 500 y 700 UNT, al que se les aplicó distintas dosis de sulfato de aluminio y almidón de papa. Los resultados demostraron que el almidón de papa es un auxiliar eficiente, pues se obtuvieron valores de remoción de 700 UNT a 5,82 UNT.

Chama, (2017) en su trabajo de investigación evaluó el poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y del policloruro de aluminio, para la eliminación de la turbiedad de las aguas para consumo humano, de la planta de tratamiento EPS, Samegua, Moquegua. En las pruebas de floculación se utilizó el equipo de prueba de jarras, los valores de turbiedad inicial, temperatura y pH fueron de 16,1 UNT, 26°C y 7,4 respectivamente. En el tratamiento se redujo la turbiedad con almidón de papa a 6,3 UNT y con policloruro de aluminio a 9,1 UNT. Al mezclar ambas sustancias se obtuvo una remoción de 7,8 UNT, concluyendo que el almidón de papa reporta mejores resultados en la remoción de turbiedad.

Alatrística, (2015) en su trabajo de investigación, para evaluar el tratamiento de efluentes textiles, por coagulación – floculación, utilizaron almidón de *Triticum aestivum* L., como ayudante de proceso. Se utilizaron muestras de agua del punto del efluente de aguas residuales textiles, en el cual se midieron insitu, el pH y temperatura. Para determinar la dosis óptima se utilizó la prueba de jarras con floculante sulfato de $Al_2(SO_4)_3$ perifloc y almidón de trigo hidrolizado con hidróxido de sodio (NaOH). La dosis del sulfato de aluminio con perifloc, redujo en un 82% y 89% el color para los efluentes textiles. Sin embargo, al aplicar el almidón de trigo y perifloc se observó una reducción de 90,6 % para el mismo parámetro. Concluyendo que el uso de almidón



Triticum aestivum L. mostro mejor capacidad como ayudante del proceso para tratar efluentes textiles, obteniéndose un agua de mejor calidad.

Ttito, (2018) al desarrollar el trabajo de Evaluación respecto a la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones altoandinas; el almidón de la variedad Imilla Negra presento el mejor promedio de remoción de turbiedad con 93,58%, en comparación al 91,74% y 92,11% de las variedades Ccompis y Sani Imilla respectivamente. La dosis óptima para la variedad Imilla Negra fue de $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de almidón solubilizado con $27,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, obteniendo una remoción a 1,71 UNT a pH 7,08; en los ensayos con la adición de almidón de papa se observó formación de flóculos densos. Los valores obtenidos se encontraron dentro de los LMP del D.S. 031-2010-SA-MINSA.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación fue en el cauce del río Coata, en la zona del Puente Independencia, antes de la captación de aguas para potabilización por la Empresa Prestadora de Servicios “EPS, SEDA Juliaca” de la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román, Región Puno. En la figura 4 se muestra el lugar de muestreo.

3.1.1. Ubicación geográfica:

La cuenca del río Coata presenta la siguiente ubicación geográfica:

- **Coordenadas geográficas:**

Latitud sur : 15°06'36'' -15°55'12''

Longitud oeste : 71°12'00'' – 69°55'12''

- **Coordenadas UTM (WGS84):**

Norte : 8 328 509 – 8 239 696

Este : 282 907 – 401 525

Variación altitudinal: 5 300 – 3 800 m.s.n.m.

3.1.2. Ubicación política:

Región: Puno

Provincia: San Román.

Distrito: Juliaca.

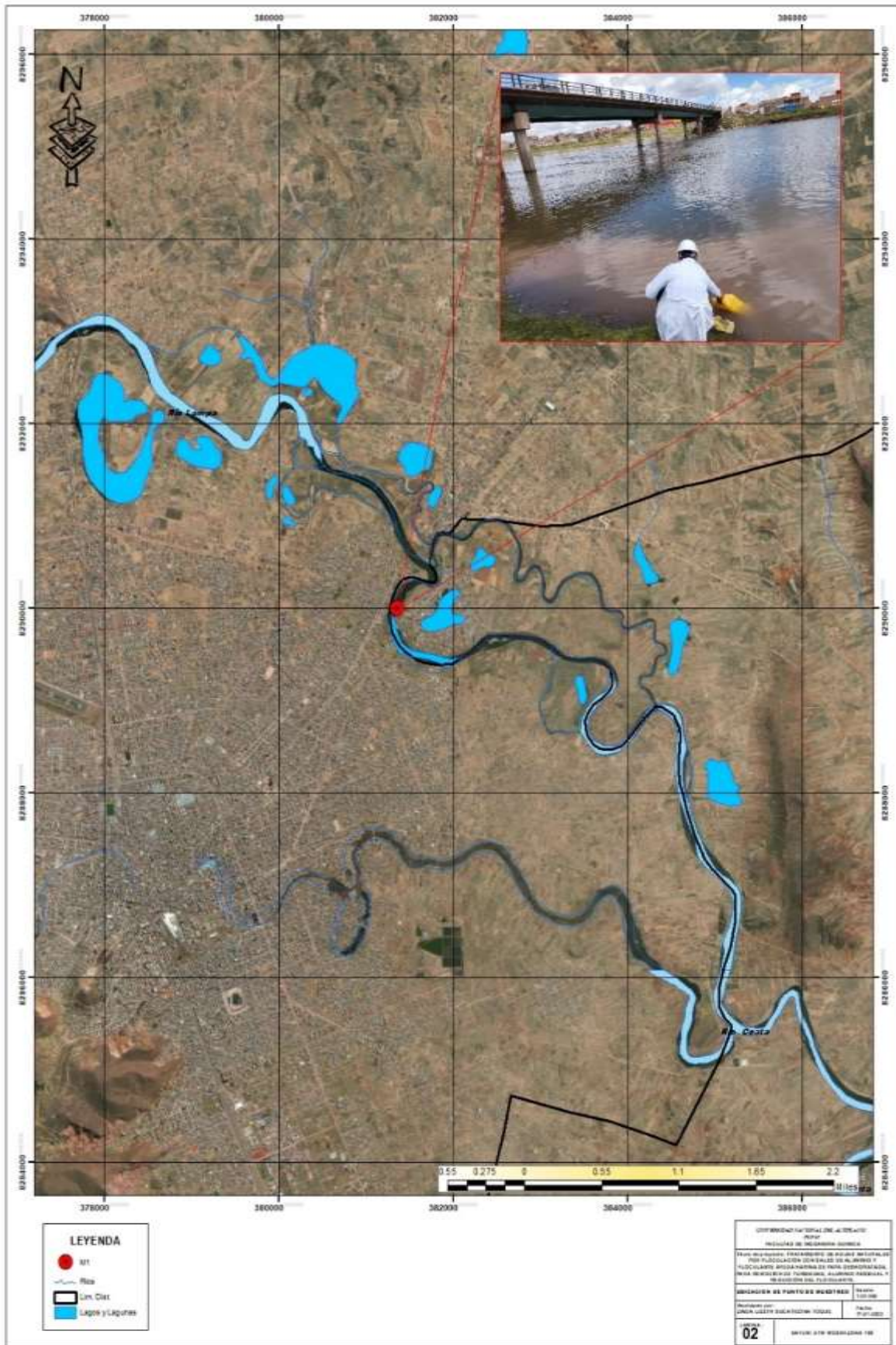


Figura 4. Punto de muestreo M1. Puente Independencia Juliaca.



3.1.3. Ubicación hidrográfica

Sistema Endorreico: Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa.

Vertiente: Lago Titicaca.

Cuenca: Rio Coata.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está constituida por el Rio Coata en el sector nor-este de la Ciudad de Juliaca, con toma de muestras de aguas del río Coata, ubicado en el punto de muestreo (M1.) estacionado a la altura del Puente Independencia de orientación nor-este de la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román, Región Puno.

3.2.1. Punto de Muestreo (M1):

El Punto de Muestreo (M1), está ubicado a la altura del Puente Independencia de la ciudad de Juliaca, con toma de muestras de agua del río Coata a 220m, antes del área de captación de agua para potabilización en la planta de tratamiento de la EPS SEDA Juliaca, comprendido en las coordenadas UTM. Norte: 8 289 999, Este: 381 359, a una altitud de 3 832 msnm.

Las muestras de agua oportunamente son acondicionadas, siguiendo los protocolos de muestreo de aguas para consumo humano y trasladados al Laboratorio de Tecnología de Aguas y al Laboratorio de Control de Calidad de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno; en el punto de muestreo insitu, se evaluaron los parámetros físicos experimentales de la calidad del agua y en los laboratorios de la facultad de Ingeniería química de la UNA-Puno, se evaluaron las muestras de agua, condicionado con sus respectivos reactivos para el control de calidad físico-químico y así mismo las muestras fueron enviadas a los Laboratorios Analíticos del Sur, de la Ciudad de Arequipa – Perú, Acreditado por el INACAL con Registro N°



LE-050 para análisis de aluminio residual. Los analices de caracterización de muestras de harina de papa deshidratada, harina de Chuño de la especie Imilla Negra, (*Solanum tuberosum* ssp) y Ccompis Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp) fueron realizados por métodos de Difracción de Rayos X, en los Laboratorios de Control de Calidad de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

3.3.1. Tipo de investigación:

El tipo de investigación es aplicativa y experimental a nivel de laboratorio, en las que se utilizan métodos de Oxidación Química y tratamiento de Coagulación – Floculación; el desarrollo de los procesos permite obtener información para evaluar la remoción del aluminio residual en muestras de agua, en muestras de aguas residuales homogenizadas.

3.3.2. Materiales, Equipos y Reactivos:

- **Materiales:** Matraces volumétricos, vasos de precipitación, matraces Erlenmeyer, probetas, pipetas, bureta, pisetas, cronometro.
- **Equipos:** Tamices por número de mallas (NM) W.S. TYLER - USA, agitador magnético IKA^R C-MAG^{MS} 7, balanza electrónica digital METTLER AJ800, equipo de floculación de Test Jarras VELP. SCIENTIFICA MODELO FP4, equipo multiparámetro para evaluación in situ HACH modelo sension5; pH metro RoHS MODELO PH-911-2021; turbidímetro HACH MODELO DR/850; conductímetro HACH modelo sension5.
- **Reactivos:** Hipoclorito de sodio NaClO (5%), hidróxido de sodio (NaOH), sulfato de aluminio [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$], Policloruro de aluminio [$Al_n(OH)_m(SO_4)_p (Cl_{3n-m-2p})$] y agua destilada.



3.3.3. Método experimental

Las evaluaciones experimentales se realizaron a nivel de laboratorio utilizando muestras de aguas naturales del Río Coata del punto de muestreo M1, con el objetivo de determinar los valores óptimos de floculación con los procedimientos de: En una primera etapa se utilizaron floculantes de sales de aluminio de Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ de concentración del 1% (p/v) y Policloruro de aluminio $[\text{Al}_n(\text{OH})_m(\text{SO}_4)_p (\text{Cl}_{3n-m-2p})]$, de concentración del 1% (v/v), de estas pruebas se obtuvieron las dosis óptima para cada uno de los reactivos, determinándose en estas pruebas la concentración del monómero residual de Aluminio (Al^{+3}); posteriormente en una segunda etapa se evaluaron el proceso de floculación utilizando los valores de las dosis óptimas de cada floculante de sal de aluminio, con adición de floculantes ayuda de harina de papa deshidratada (chuño) de las variedades de imilla negra e imilla rosada, en cuyos procesos de floculación se evaluaron las dosis óptima de estos floculantes ayuda y finalmente con estos valores se sometieron a floculación del agua para evaluar la concentración del monómero residual de Aluminio (Al^{+3}), para los cuales se desarrollaron las siguientes determinaciones:

- Caracterización de floculantes ayuda: Comprende la caracterización de la harina de papa deshidratada (Harina de Chuño) con activación química, de la variedad Imilla Negra, (*Solanum tuberosum* ssp) y variedad Ccompis Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp); la caracterización de los floculantes ayuda fueron analizados por el método de Difracción de Rayos X, realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Nacional de San Agustín Arequipa (2022). Una vez caracterizado los componentes físico químicos de la harina de papa deshidratada, se prepararon soluciones al 1% de concentración, para uso como floculante ayuda. La procedencia de las papas



deshidratadas (Chuño de papa), proceden del Distrito de Tilali, Provincia de Moho, Región Puno. (Ver certificación)

- Activación química, de la harina de papa deshidratada (harina de chuño). El proceso de activación de la harina de papa deshidratada se sometió en medio ácido, para el cual se utilizó harina en suspensión del 20 %, con agitación constante por 20 minutos a temperatura de 30 °C; a esta solución se adicionó hipoclorito de NaOCl al 2,0 % de cloro activo (p/v) con plena agitación por 20 minutos con ajuste de pH con NaOH 0,1 N a pH 8,5; luego se dejó la solución en reposo por una hora y posteriormente con nivel de agitación continua se neutralizó a pH 7 con HCl 0,1N; seguidamente se sometió a secado en estufa a 40 °C por 48 horas; la harina activada obtenida se pulverizó y tamizó a malla M-100; producto con el cual se realizaron las evaluaciones por pruebas de test de jarras, como floculante ayuda, para determinar la dosis óptima de la floculación y remoción del monómero residual de Aluminio (Al^{+3}).
- Caracterización de las aguas del río Coata del punto de muestreo M1, que comprende la determinación de parámetros físico-químicos del agua, análisis realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
- Determinación de valores óptimos para el proceso de tratamiento de aguas por coagulación-floculación; el valor óptimo corresponde al mayor valor de remoción (%R) de la NTU en las muestras tratadas y de la valoración del monómero residual de Aluminio (Al) en el agua tratada cuyo valor óptimo corresponde al mayor porcentaje (%R) de remoción de Aluminio (Al). Las evaluaciones se realizaron en función a las 3 variables de estudio de: Primera variable, Coagulación-floculación con sulfato de aluminio y con policloruro de aluminio. Segunda variable, Coagulación-floculación para las dosis óptimas obtenidos de los coagulantes sulfato de aluminio y para el policloruro de aluminio con

adición de floculantes ayuda de harina de papa deshidratada (harina de chuño) de las dos variedades respectivamente. Tercera variable, Coagulación-floculación utilizando la dosis óptima de sulfato de aluminio y del floculante ayuda de harina de papa deshidratada de las dos variedades y de forma similar para Coagulación-floculación con uso de la dosis óptima de policloruro de aluminio y de los floculantes ayuda de harina de papa deshidratada de las dos variedades; procesos que se llevan a cabo, con el objetivo de determinar la dosis óptima del monómero aluminio residual en el agua tratada para ambos casos de floculación; tratamiento de factorial de 2^3 que corresponden a 8 repeticiones para cada variable. Las variables óptimas están comprendidas por:

➤ **Evaluación de la dosis óptima para el proceso de coagulación-floculación:**

Con coagulante Sulfato de Aluminio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$, y con coagulante Policloruro de aluminio $[Al_n(OH)_m(SO_4)_p (Cl_{3n-m-2p})]$; tratamiento de 8 repeticiones (8 vasos de test de jarras); muestras de 1 000 mL de agua natural, del punto de muestreo M1. Las pruebas se realizaron en forma separada con coagulantes del 1% de concentración, para Sulfato de Aluminio y para Policloruro de Aluminio; a cada repetición (muestra de agua de 1 000 mL) se le agrega diferentes cantidades de volumen en (mL), del respectivo coagulante tal como se indica en la tabla 4 y 5 y de esta seleccionar la dosis óptima del coagulante.

Tabla 4. Dosis óptimo del coagulante Sulfato de Aluminio para prueba de Test de Jarras

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Sulfato de Aluminio al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabla 5. Dosis óptimo del coagulante Policloruro de Aluminio para prueba de Test de Jarras

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Policloruro de Aluminio al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8



Donde:

n: número de vaso de floculación para el tratamiento.

El tratamiento comprende la adición del coagulante a cada muestra de agua, iniciándose el proceso de la coagulación en el equipo de test de jarras, con una agitación para desestabilización de las cargas eléctricas de los coloides, a 200 rpm, por el tiempo de 3 minutos; seguido por el proceso de floculación con una agitación a 20 rpm por 20 minutos; cumplido la agitación dejar los vasos en reposo por un tiempo de 20 minutos y pasado este tiempo evaluar para cada vaso la remoción de la turbiedad NTU y de esta prueba determinar la dosis óptima del floculante, que corresponde al vaso del mayor porcentaje de remoción (%R) de turbiedad NTU.

Porcentaje de remoción de turbidez (NTU)

$$\% \text{ Remoción Turbidez} = \frac{\text{Turb (o)} - \text{Turb (f)}}{\text{Turb (o)}} 100 \quad (1)$$

Donde:

Turb. (o) = Turbidez inicial (NTU)

Turb. (f) = Turbidez final, después del tratamiento de floculación

➤ **Evaluación de la dosis óptima para remoción del monómero aluminio residual (Al^{+3}) en el agua tratada:** El tratamiento de la remoción del monómero aluminio residual (Al^{+3}), se desarrolló mediante el proceso de coagulación-floculación, para el cual se utiliza el valor de la dosis óptima determinada para el coagulante Sulfato de Aluminio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$] y para el coagulante Policloruro de Aluminio [$\text{Al}_n(\text{OH})_m(\text{SO}_4)_p (\text{Cl}_{3n-m-2p})$]; el tratamiento se desarrolló para cada floculante con ocho repeticiones (ocho vaso de tes de jarras) y para cada vaso de tratamiento se adiciona un volumen determinado de la solución del floculante ayuda de harina de papa deshidratada (harina de chuño) de concentración del 1%, de la especie Imilla Negra (*Solanum*

tuberosum ssp) y así mismo en forma separada se evaluó con adición del floculante ayuda de harina de papa deshidratada de la especie Ccompis Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp) y para cada una de estas etapas se seleccionó la dosis óptima de cada uno de los floculantes ayuda, que corresponde al tratamiento de mayor porcentaje de remoción (%R) del monómero de aluminio residual (Al^{+3}) en el agua tratada. En las tablas 5; 6; 7; y 8; se muestran los volúmenes de propuestos de los floculantes ayuda para evaluar la dosis óptima, para remoción del monómero de aluminio residual en el agua tratada para consumo humano.

- **Porcentaje de remoción del monómero aluminio residual (Al^{+3})**

$$\% \text{ Remoción del Aluminio residual (Al)} = \frac{Al(o) - Al(f)}{Al(o)} 100 \quad (2)$$

Donde:

$Al(o)$ = Aluminio residual inicial

$Al(f)$ = Aluminio residual final después del tratamiento

- **Equivalencia de concentración del coagulante:**

$$1 \text{ mL de coagulante (del 1\%)} = 10\text{mg} \cdot L^{-1} \text{ del coagulante} \quad (3)$$

Tabla 6. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Negra con Sulfato de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al^{+3} por Test de Jarras

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla negra al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Sulfato Aluminio óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do

Tabla 7. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Rosada con Sulfato de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al^{+3} por Test de Jarras

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla rosada al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Sulfato Aluminio óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do

Tabla 8. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Negra con Policloruro de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al^{+3} por Test de Jarras

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla negra al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Policloruro de Al, óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do

Tabla 9. Volumen de floculante Ayuda de Imilla Rosada con Policloruro de Aluminio para determinar la dosis óptima en la remoción de Al^{+3} por Test de Jarras

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla rosada al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Policloruro de Al, óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do

Donde:

n: número de vaso de floculación para el tratamiento.

Do = Dosis óptima

➤ **Evaluación del pH óptimo en la remoción del monómero aluminio residual (Al^3) en el agua tratada:** La evaluación del proceso comprende que cada vaso de los 8 tratamientos debe contener un litro de agua más la cantidad de volumen del valor óptimo del coagulante previamente determinada para el sulfato de aluminio y para el policloruro de aluminio a los cuales se les adiciona el volumen óptimo del floculante ayuda de la harina de la papa deshidratada para el tratamiento con la variedad Imilla Negra (*Solanum tuberosum* ssp) y en idéntica forma evaluar con la variedad Ccompis Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp), con control a diferentes valores de pH para cada uno de los tratamientos y de esta determinar el tratamiento del mayor porcentaje de remoción (%R) del monómero de aluminio Al^{+3} , que corresponde al pH óptimo respectivo en el agua tratada; los tratamientos para diferentes pH, se muestran en las tablas, 10; 11; 12 y 13.

Tabla 10. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al^{+3}) en el agua tratada por Test de Jarras con Sulfato de Aluminio – Imilla Negra

Vaso	n	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla negra al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Sulfato Aluminio óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do
pH	Un	6,2	6,5	7,0	7,3	7,5	7,8	8,0	8,2

Tabla 11. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al^{+3}) en el agua tratada por Test de Jarras con Sulfato de Aluminio – Imilla Rosada

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla rosada al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Sulfato Aluminio óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do
Ph	Un	6,2	6,5	7,0	7,3	7,5	7,8	8,0	8,2

Tabla 12. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al^{+3}) en el agua tratada por Test de Jarras con Policloruro de Aluminio – Imilla Negra

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla negra al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Policloruro de Al, óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do
pH	Un	6,2	6,5	7,0	7,3	7,5	7,8	8,0	8,2

Tabla 13. Control de pH y remoción óptima del monómero aluminio residual (Al^{+3}) en el agua tratada por Test de Jarras con Policloruro de Aluminio – Imilla Rosada

Vaso	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Harina Imilla rosada al 1%	mL	1	2	3	4	5	6	7	8
Policloruro de Al, óptimo	mL	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do	Do
pH	Un	6,2	6,5	7,0	7,3	7,5	7,8	8,0	8,2

Donde:

n: número de vaso de floculación para el tratamiento.

Do = Dosis óptima

3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para la presente investigación, se empleó el diseño estadístico experimental, el análisis del ANOVA de un factor, compuesto por los niveles óptimos de las variables y de sus respuestas de los experimentos, para remoción de turbiedad y monómero aluminio con adición de floculante ayuda, harina de papa deshidratada (harina de chuño); en aguas del río Coata.

MODELO ESTADÍSTICO

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij} \quad i = 1, \dots, I \quad j = 1, \dots, n_i$$

Donde:

y_{ij} : Variable aleatoria que representa la observación j -ésima del i -ésimo tratamiento (nivel i -ésimo del factor).

μ : Efecto constante, común a todos los niveles. Media global.

τ_i : Efecto del tratamiento i -ésimo. Es la parte de y_{ij} debida a la acción del nivel i -ésimo, que será común a todos los elementos sometidos a ese nivel del factor.

u_{ij} : Variables aleatorias que engloban un conjunto de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta sólo en pequeña magnitud pero que de forma conjunta se deben verificar las siguientes condiciones:

- ✓ La media sea cero: $E[u_{ij}] = 0 \quad \forall i, j$.
- ✓ La varianza sea constante: $\text{Var}[u_{ij}] = \sigma^2 \quad \forall i, j$
- ✓ Independientes entre sí: $E[u_{ij}u_{rjk}] = 0 \quad i \neq r \text{ ó } j \neq k$.

Para dicha investigación, se utilizó el diseño unifactorial completamente al azar (equilibrado) tal como se muestra en la tabla 14, los tratamientos fueron asignados en forma aleatoria a las unidades experimentales, se considera que fue un diseño eficaz, para que las unidades observacionales sean homogéneas.

Tabla 14. Tabla Anova

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Cuadrados de Libertad	Cuadrados Medios	F_{exp}
Entre grupos	SCTr	$I - 1$	CMTr	$\frac{CMTr}{CMR}$
Dentro de grupos	SCT	$N - I$	CMR	
TOTAL	SCT	$N - 1$	CMT	

SCT: Suma de cuadrados total

SCTr: Suma de cuadrados entre tratamientos

SCR: Suma de cuadrados dentro de los tratamientos o residual.

CMT: Cuadrado medio total: $CMT = SCT / (N - 1)$

CMTr: Cuadrado medio entre tratamientos: $CMTr = SCTr / (I - 1)$

CMR: Cuadrado medio residual: $CMR = SCR / (N - I)$

3.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN LABORATORIO

3.5.1. Proceso de Coagulación – Floculación

El proceso de coagulación-floculación para tratamiento de aguas se evaluó en el equipo de Test de Jarras del Laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno.

- **Metodología de evaluación por Test de Jarras:**

La metodología para la evaluación por Test de Jarras, se basó en la directiva de la norma ASTM D2035-80 (2003) “Standard Practice for Coagulation - Flocculation Jar Test of Water”, para evaluar la calidad del agua mediante ensayos del Test de Jarras para procesos de coagulación-floculación.

Se prepararon soluciones stock de concentración del 5%, de los coagulantes sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$ y Policloruro de aluminio $[Al_n(OH)_m(SO_4)_p (Cl_{3n-m-2p})]$ y por dilución se prepararon soluciones de concentraciones del 1%, para las pruebas respectivas de coagulación-floculación, con el objetivo de obtener la dosis óptima para cada floculante en el tratamiento de la muestra del agua natural. En la tabla 15, se muestran las concentraciones, tiempo de duración de las soluciones de coagulantes utilizadas, las que se prepararon para la evaluación de la dosis óptima para procesos por Test de Jarras.

Tabla 15. Concentraciones recomendadas de las soluciones coagulante-floculante para tratamiento por test de jarras

Reactivo Químico	Concentración Solución	Duración de la solución	1 mL, en un litro de la solución equivale a
Sulfato de Aluminio	1%	1 mes	10 mg $Al^{+3} \cdot L^{-1}$
Poli Cloruro de Aluminio	1%	2 meses	10 mg $Al^{+3} \cdot L^{-1}$

Fuente. Miranda. (2012).

- **Características del equipo de Test de Jarras:** El equipo de Test de Jarras que se utilizó, se encuentra en el Laboratorio de Tecnología de aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. En la tabla 16 se describe las características y en la figura 5 se muestra el equipo:

Tabla 16. Características del equipo test de jarras

Características del equipo	
Estructura	Metálica recubierta con pintura epoxi
N° de posiciones de agitación	4
Agitador de acero inoxidable	Regulables en altura con dispositivo auto bloqueo
Motor:	Corriente continua con reducción independiente para cada puesto de agitación
Pluri comando	Comando único para selección de giro de cada paleta
Potencia	60 w.
Dimensiones	250x320x250
Regulación electrónica de giro	Seleccionable 20-40-50-100-200 rpm. Sin display
N° de vasos	4 - Volumen de 1 Litro



Figura 5. Equipo para ensayo de test de jarras de cuatro jarras



3.6. VARIABLES

Para el proceso de tratamiento de aguas naturales por coagulación-floculación con sales de aluminio y floculante ayuda harina de papa deshidratada (harina de chuño), para remoción de turbiedad, del monómero de aluminio residual y reducción del floculante, se han identificado las siguientes variables:

- Variable Independiente (Vi): Causa
Turbiedad y monómero de aluminio
- Variable Dependiente (Vd): Efecto
Remoción por coagulación-floculación
- Variables Intervinientes:
Dosis óptimas del floculante y pH.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los datos y resultados obtenidos según los objetivos de estudio del trabajo de investigación, a través de fundamentos, de resultados, tablas, figuras, interpretaciones y discusiones del estudio, en base al marco teórico, conceptual y de antecedentes del trabajo de investigación.

4.1.1. Caracterización físico químico del agua natural del río Coata

En la tabla 17 se exponen los resultados de la caracterización físico química del agua natural del río Coata, en el punto de muestreo (M1), puntualizado a la altura del Puente Independencia de la ciudad de Juliaca, comprendido en las coordenadas UTM. Norte: 8 289 999, Este: 381 359. A una altitud de 3 832 msnm.

Tabla 17. Características físico-químico del agua natural del río Coata en el punto de muestreo (M1)

Parámetros	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 04 – 2017 MINAM.	Valores Obtenidos
Turbidez	NTU	5	49,00
Potencial de Hidrogeno	pH	6.5 – 8.5	7,21
Conductividad eléctrica	($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	<1500	1 029
Oxígeno disuelto	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≥ 6	4,77
Sólidos Totales Disueltos	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1 000	268,0
Sólidos Suspendidos totales	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	----	125,0
Sólidos Totales Volátiles	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	----	78,00
Temperatura	(°C)	10 -20	14
Salinidad	(%)	----	0,18
Aluminio	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,20	0,47
Densidad	($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	1.000	1.009

Fuente: Laboratorio control de calidad. Facultad de Ingeniería Química UNA-Puno

4.1.2. Caracterización físico químico de la Harina de papa deshidratada.

Las muestras de las harinas de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra, (*Solanum tuberosum* ssp) y variedad Ccompis Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp), fueron caracterizados mediante análisis por de Difracción de Rayos X, realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Nacional de San Agustín Arequipa. La caracterización de los componentes físico químicos de la harina de la papa deshidratada, su estructura molecular para cada variedad está conformado por:

- a) Harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra, (*Solanum tuberosum* ssp), Su estructura molecular está conformada por los componentes que se muestra en la tabla 18; e integrado en forma resaltante su estructura molecular por el contenido de $05,00 \times 0,3 = 1,5$ % de hexacyanoferrate (III) y de almidón = 61,87 %

Tabla 18. Estructura molecular de la Harina de papa deshidratada de la variedad Imilla Negra (*Solanum tuberosum* ssp)

Componente	% Contenido
Almidón: $C_{36}H_{47}N_2O_4$	61,87
a-Ciclodextrina DMF 12-13 Hidratado	20,96
b-Ciclodextrina Hexa Hidratado	11,58
Potassium nickel (II) [hexacyanoferrate (III)0.3/ hexacyano-cobaltate (III)0.7]	05,00
$C_{57}H_{116}N_2O_{40}$	00,60

Fuente: Laboratorio de control de calidad Univ. San Agustín Arequipa (2022)

Los resultados del análisis cuantitativo se encuentran en anexos. Ver Anexo (A.1)

- b) Harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Ccompis Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp), del análisis por difracción de rayos X, su estructura molecular, está conformada por los componentes que se muestra en la

tabla 19, e integrado su estructura molecular en forma resaltante por el contenido de $05,38 \times 0,3 = 1,61$ % de hexacyanoferrate (III) y de almidón = 57,77 %

Tabla 19. Estructura molecular de la Harina de papa deshidratada de la variedad Imilla Rosada (*Solanum tuberosum* ssp)

Componente	% Contenido
Almidón: $C_{36}H_{47}N_2O_4$	57,77
a-Ciclodextrina DMF 12-13 Hidratado	18,92
b-Ciclodextrina Hexa Hidratado	16,93
Potassium nickel (II) [hexacyanoferrate (III)0.3/ hexacyano-cobaltate (III)0.7]	05,38
$C_{57}H_{116}N_2O_{40}$	01,00

Fuente: Laboratorio de control de calidad Univ. San Agustín Arequipa (2022)

Los resultados del análisis cuantitativo se encuentran en anexos. Ver Anexo (A.2)

En la caracterización de las harinas de papa deshidratada, analizada por el método de difracción de rayos, se observa que las harinas tienen la presencia de Fe (III) elemento químico que ayuda a formación de hidróxidos en el proceso de floculación y así mismo la alta concentración de almidón son componentes moleculares que actúan como floculantes intervinientes. Con la disponibilidad de estas harinas se prepararon soluciones de concentración del 1% (p/v), para su uso como floculante ayuda.

4.2. EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y ALUMINIO RESIDUAL DEL AGUA POR PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La remoción de la turbiedad y del aluminio residual del agua, se realizaron mediante el proceso de coagulación-floculación con sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$ y Policloruro de aluminio $[Al_n(OH)_m(SO_4)_p (Cl_{3n-m-2p})]$ y con el uso de floculantes ayuda, de harina de papa deshidratada (harina de chuño); mediante estas



pruebas se determinaron las dosis óptimas para la eliminación de Turbiedad y del Monómero Aluminio en aguas naturales procedente del río Coata, con el objetivo de obtener agua tratada para consumo humano.

4.2.1. Evaluación de la Dosis óptima para Remoción de Turbiedad y Monómero Aluminio utilizando coagulantes Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio.

En la tabla 20 y 21, se reportan los resultados del proceso de la determinación de la dosis óptima de tratamiento del coagulante sulfato de aluminio y del coagulante policloruro de aluminio, para la remoción de turbiedad (NTU) y del monómero aluminio en muestras de aguas naturales del río Coata (M1), agua sin tratamiento.

La evaluación se realizó en forma separada para cada coagulante, integrado por 8 ensayos (N), para igual número de vasos de floculación de volumen de 01 litro de agua del punto de muestreo (M1); para cada ensayo o a cada vaso de floculación se adicionaron el volumen pre establecido del coagulante, de concentración del 1% (p/v). Al inicio de la prueba se determinó la concentración inicial (C_o) de turbidez (NTU) en muestras de agua de río sin tratamiento, del punto de muestreo (M1), que corresponde a 49 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) y una concentración de $0,47 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$ de aluminio (ver certificación de análisis anexo B); seguidamente se procedió al proceso de coagulación, para una primera prueba con sulfato de aluminio y para una segunda prueba con policloruro de aluminio; las muestras de un litro de agua y su respectivo coagulante son agitados a 200 rpm por 3 minutos para desestabilizar las cargas eléctricas en los coloides del agua, seguidamente se sometió al proceso de floculación con una agitación a 20 rpm por 20 minutos y cumplido este tiempo, poner en reposo cada vaso por el tiempo de 20 minutos para su respectiva sedimentación, cumplido este tiempo de tratamientos tomar una muestra de cada vaso para determinar la concentración final (C_f) de turbidez

NTU y con estos valores se determinaron el porcentaje de remoción (%R) de la turbidez del agua (ecuación 2); de estos resultados elegir el mayor valor del porcentaje de remoción (%R) del NTU cuyo volumen del coagulante determinado viene a ser la dosis óptima de floculación para la remoción de la turbidez; y así mismo en esta muestra se determinó la concentración del aluminio residual para determinar su remoción respectiva.

En la tabla 20 y figura 6, para el coagulante Sulfato de aluminio, se reporta la dosis óptima para la remoción de turbiedad, que corresponde al 91,84 por ciento de remoción (%R) de turbidez, para el cual se ha utilizado un volumen de 5 mL del coagulante Sulfato de aluminio del 1% de concentración, equivalente a $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (ecuación 3) de Sulfato de aluminio. Así mismo en el tratamiento se logró remocionar aluminio residual (Al, insoluble), desde una concentración inicial de $0,47 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$, a una concentración final de $0,09 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$. La evaluación reporta que con el tratamiento del agua, la remoción de la turbidez (NTU) y del aluminio (Al^{3+}) insoluble de las muestras de agua llegan a tener concentraciones por debajo de los valores del Límite Máximo Permissible (LMP) que corresponde a $5 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$ para la turbiedad del agua y de $0,2 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$ para el aluminio residual (DS. 004-2017-MINAM). La certificación de los análisis de aluminio residual para la dosis óptima.

Tabla 20. Dosis óptima para Remoción de Turbiedad y Aluminio Residual utilizando coagulante Sulfato de aluminio

N	Sulfato de Aluminio (mL) al 1%	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R	Al ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	1	49	16	67,35	
2	2	49	11	77,55	
3	5	49	4	91,84	0,09

4	10	49	5	89,79
5	15	49	6	87,76
6	20	49	6	87,76
7	25	49	6	87,76
8	30	49	6	87,76
LMP		49	5	89,79

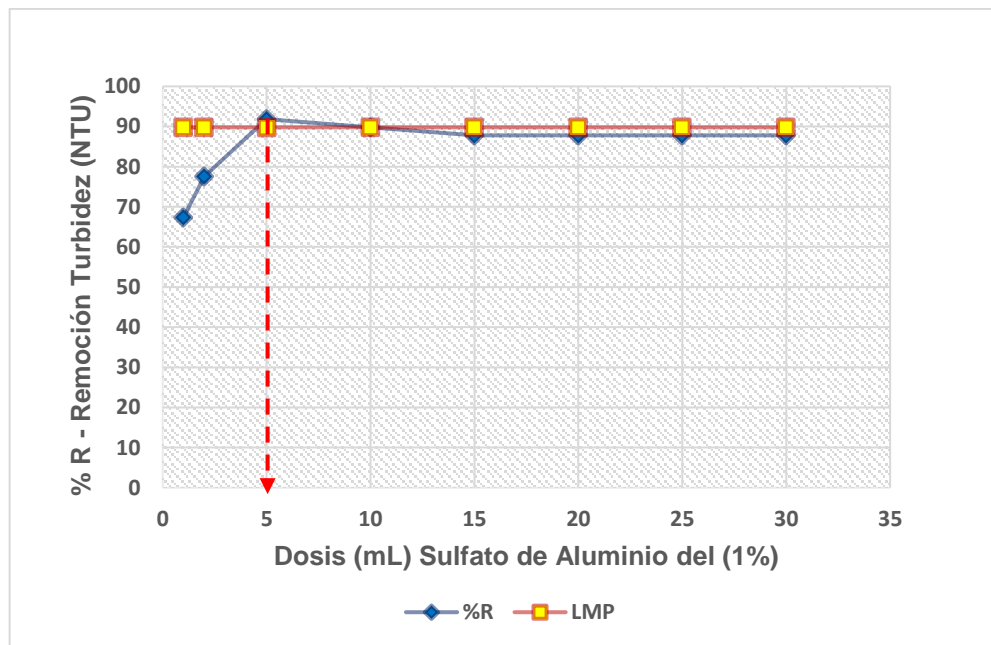


Figura 6. Dosis óptima y Límite Máximo Permissible para Remoción de Turbiedad y Aluminio Residual con coagulante Sulfato de aluminio

En la tabla 21 y figura 7, Utilizando coagulante Policloruro de aluminio, se reporta la dosis óptima para la remoción de Turbiedad que corresponde a 93,87 por ciento de remoción (%R) de turbidez, para el cual se utilizó un volumen de 5 mL del coagulante Policloruro de aluminio de concentración del 1%, equivalente a $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, de Policloruro de aluminio y para esta dosis óptima, también se logró remocionar aluminio residual insoluble (Al^{3+}), desde una concentración inicial de $0,47 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$, a una

concentración final de $< 0,08$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) de Aluminio residual insoluble. La evaluación reporta que, en el tratamiento del agua, la remoción de la turbidez (NTU) y del aluminio residual de las muestras de agua, llegan a tener concentraciones por debajo de los valores del Límite Máximo Permissible (LMP) que corresponde a 5 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) para la turbiedad del agua y a $0,2$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) para el aluminio residual insoluble (DS. N° 004-2017-MINAM). La certificación de los análisis de aluminio residual para dosis la óptima, ver (Anexo 2.5).

Tabla 21. Dosis óptima para Remoción de Turbiedad y Aluminio Residual utilizando coagulante Policloruro de aluminio

N	Policloruro Aluminio (mL) al 1%	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R	Al ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	1	49	15	69,39	
2	2	49	10	79,59	
3	5	49	3	93,87	^a $<0,08$
4	10	49	4	91,83	
5	15	49	5	89,76	
6	20	49	5	89,76	
7	25	49	5	89,76	
8	30	49	6	87,76	
LMP		49	5	89,76	

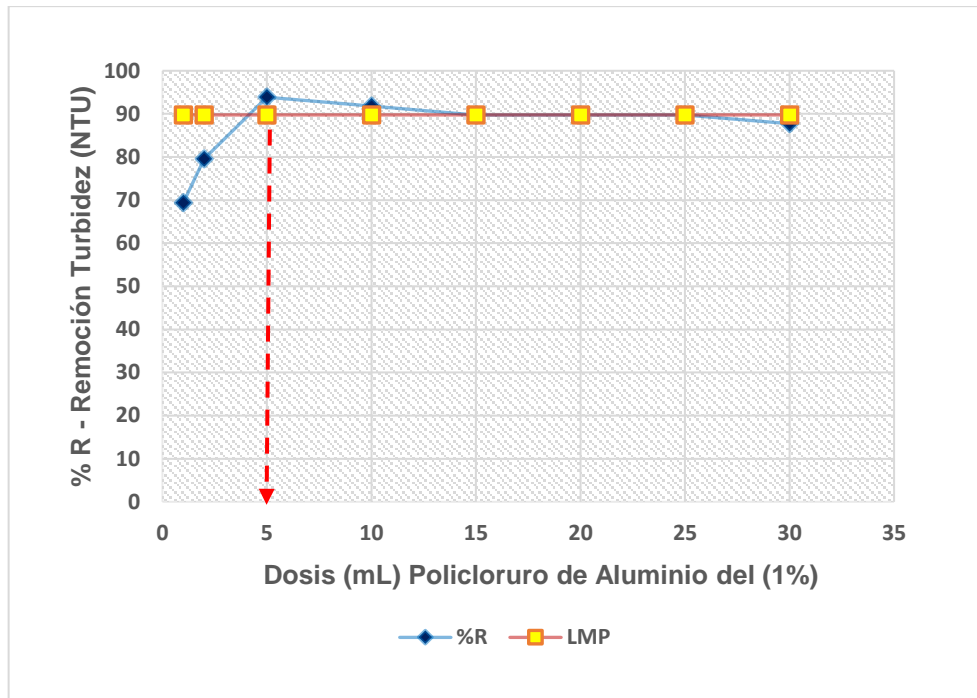


Figura 7. Dosis óptima y Límite Máximo Permisible para remoción de Turbiedad y Aluminio Residual con coagulante Policloruro de aluminio

4.2.2. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda harina de papa deshidratada, con dosis óptima del coagulante Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio, para la remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua.

Los coagulantes derivados del aluminio, son versátiles, disponibles y eficientes en el tratamiento de aguas para la remoción de la turbiedad y del color del agua; en el caso de coagulantes químicos de Sulfato de aluminio y del Policloruro de aluminio, estos pueden ser mejorados para tener mayor rendimiento en el tratamiento del agua por floculación, debido a cambios de algunos factores físicos y químicos que intervienen en el proceso y poder obtener resultados óptimos; así podemos tener el reemplazo de cationes de baja valencia por otros de mayor que permiten la formación del flóculos a mayor velocidad, y dentro de estos factores podemos tener la adición de floculantes ayuda que incrementan la formación de mayor cuerpo de flóculos y de hidróxidos debido al aporte



de cargas trivalentes (caso del Fe^{3+}) que se encuentran en estos floculantes ayuda, con un comportamiento positivo de incrementar a la actividad de floculación desarrollado por el aluminio (Al^{3+}) para formar redes tridimensionales, que por gravedad sedimentan con mayor facilidad, arrastrando a los componentes de los coloides del agua.(Choque. 2018). Por otra parte, todas las aguas naturales contienen aluminio, en aguas neutras está presente como compuesto insoluble y en aguas altamente ácidas o alcalinas pueden presentarse ionizadas en solución; así mismo en el agua se tiene la bioadsorción del aluminio en forma natural, caso del residual procedentes de floculantes utilizados en el tratamiento del agua (Asociación Española del Aluminio. 2008) residuos que pueden afectar en la salud del consumidor. Seguidamente se muestra la remoción de turbiedad y del monómero aluminio residual del tratamiento del agua, utilizando dosis óptimas de coagulantes de Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio, con adición de floculantes ayuda de harina de papa deshidratada de las variedades Imilla negra y variedad Imilla rosada para cada uno de los floculantes.

A. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda harina de papa deshidratada variedad Imilla negra, utilizando coagulante Sulfato de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua.

La tabla 22 y figura 8, muestran los resultados de la evaluación de remoción de turbiedad (NTU) y aluminio residual (Al^{3+}), utilizando el volumen de la dosis óptima determinada para el coagulantes sulfato de aluminio que corresponde a 5 mL del 1% de concentración y con adición de diferentes volúmenes del floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla negra, de concentración del 1%(p/v); el mayor rendimiento de remoción de la turbiedad (NTU) fue de 91,84% (%R), para un volumen de 5 mL del floculante ayuda y el mayor rendimiento de remoción del Aluminio residual



(Al³⁺) fue del 93,83% (%R), quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua, que corresponde para el volumen óptimo de 2 mL del floculante ayuda; ambas cantidades de remoción, se encuentran por debajo de los límites máximo permisibles del agua para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM) por lo tanto el agua tratada es apta para el consumo humano. La certificación de los análisis del aluminio residual ver (Anexo 2.6.)

Tabla 22. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Sulfato de aluminio óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al³⁺)

N	Sulfato Aluminio (mL) 1%	Imilla Negra (mL)1%	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al ³⁺)	Cf (Al ³⁺)	%R (Al ³⁺)
1	5	1	49	12	75,51	0,47	0,046	90,21
2	5	2	49	8	83,67	0,47	^b < 0,029	93,82
3	5	5	49	3	91,84	0,47	0,051	89,15
4	5	10	49	4	91,83	0,47	0,075	84,04
5	5	15	49	4	91,83	0,47	^b < 0,029	93,82
6	5	20	49	5	89,79	0,47	0,055	88,29
7	5	25	49	5	89,79	0,47	0,055	88,29
8	5	30	49	5	89,79	0,47	0,055	88,29
LMP			49	5	89,79	0,47	0,200	57,45

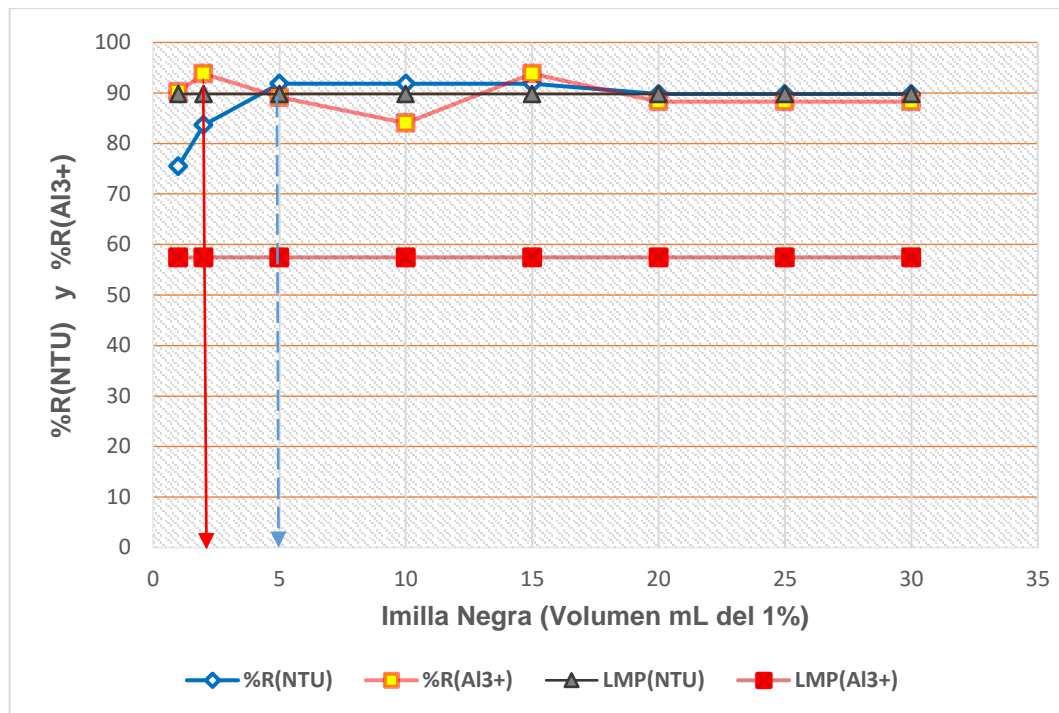


Figura 8. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Sulfato de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+})

B. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda harina de papa deshidratada variedad Imilla rosada, utilizando coagulante Sulfato de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua.

En la tabla 23 y figura 9, se muestran los resultados de la remoción de turbiedad (NTU) y aluminio residual (Al^{3+}), con uso de dosis óptima determinada del coagulantes Sulfato de aluminio, que corresponde a 5 mL del 1% de concentración, con adición de diferentes volúmenes de concentración del 1%(p/v) del floculante ayuda harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad imilla rosada. El mayor rendimiento de remoción de la turbiedad (NTU) fue de 93,87% (%R) y para la remoción del Aluminio residual (Al^{3+}) fue del 93,83% (%R) quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua; cuyos valores de remoción corresponden para el volumen óptimo de 5 mL del

floculante ayuda; ambas cantidades de remoción se encuentran por debajo de los límites máximo permisibles (LMP) del agua para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM), por lo tanto, el agua natural tratada es apto para consumo humano. ver certificación de análisis del aluminio residual (Anexo 2.7.)

Tabla 23. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Sulfato de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+})

N	Sulfato Aluminio (mL) 1%	Imilla Rosado (mL)1%	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al^{3+})	Cf (Al^{3+})	%R (Al^{3+})
1	5	1	49	10	79,59	0,47	0,065	46,93
2	5	2	49	5	89,79	0,47	0,049	89,57
3	5	5	49	3	93,87	0,47	$b < 0.029$	93,83
4	5	10	49	4	91,83	0,47	$b < 0.029$	93,83
5	5	15	49	4	91,83	0,47	0,031	93,40
6	5	20	49	5	89,79	0,47	$b < 0.029$	93,83
7	5	25	49	5	89,79	0,47	0,040	91,49
8	5	30	49	5	89,79	0,47	0,040	91,49
LMP			49	5	89,79	0,47	0,200	57,45

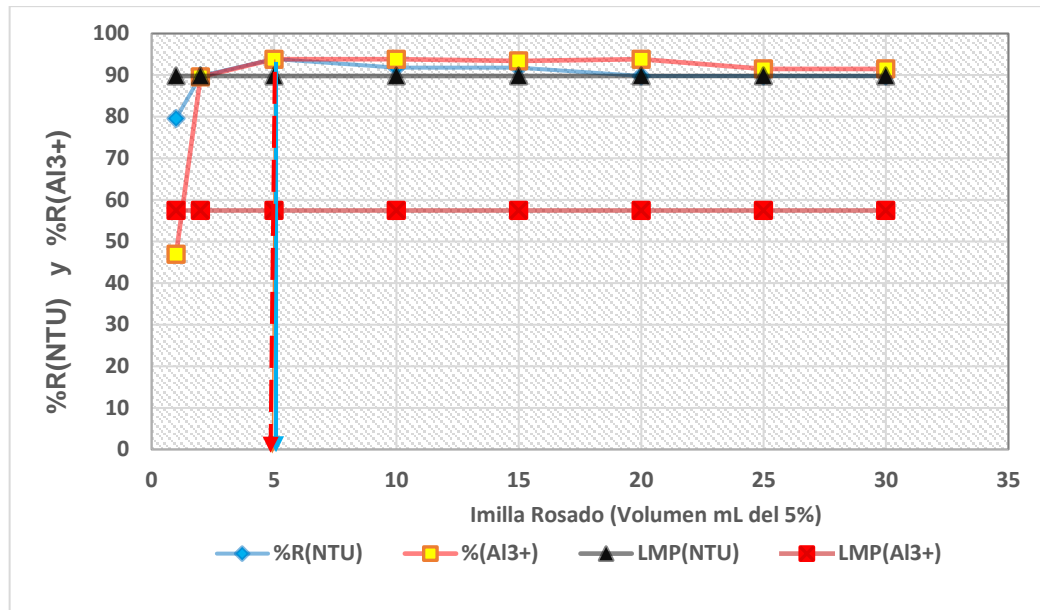


Figura 9. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Sulfato de aluminio óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+})

C. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda de harina de papa deshidratada variedad Imilla negra utilizando coagulante Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua.

La tabla 24 y figura 10, muestran los resultados de la remoción de turbiedad (NTU) y aluminio residual (Al^{3+}), utilizando la dosis óptima determinada del coagulantes Policloruro de aluminio que corresponde a 5 mL del 1% de concentración, con adición de diferentes volúmenes de concentración del 1%(p/v) del floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla negra. El mayor rendimiento de remoción de la turbiedad (NTU) fue de 93,87% (%R) y de la remoción del Aluminio residual (Al^{3+}) fue del 93,83% (%R) quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua; cuyo valor de remoción corresponden para el volumen óptimo de 10 mL del floculante ayuda;

ambas cantidades de remoción se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) del agua para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM), por lo tanto, el agua natural tratada es apta para consumo humano. La certificación de los análisis de aluminio residual ver (Anexo 2.8.)

Tabla 24. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+})

N	Policloruro Aluminio (mL) al 1%	Imilla Negra (mL)1%	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al^{3+})	Cf (Al^{3+})	%R (Al^{3+})
1	5	1	49	9	81,63	0,47	0,080	82,97
2	5	2	49	6	87,76	0,47	0,054	88,51
3	5	5	49	3	93,87	0,47	0,053	88,72
4	5	10	49	3	93,87	0,47	$b < 0,029$	93,83
5	5	15	49	4	91,83	0,47	$b < 0,029$	93,83
6	5	20	49	4	91,83	0,47	$b < 0,029$	93,83
7	5	25	49	5	89,79	0,47	$b < 0,029$	93,83
8	5	30	49	5	89,79	0,47	$b < 0,029$	93,83
LMP			49	5	89,79	0,47	0,200	57,45

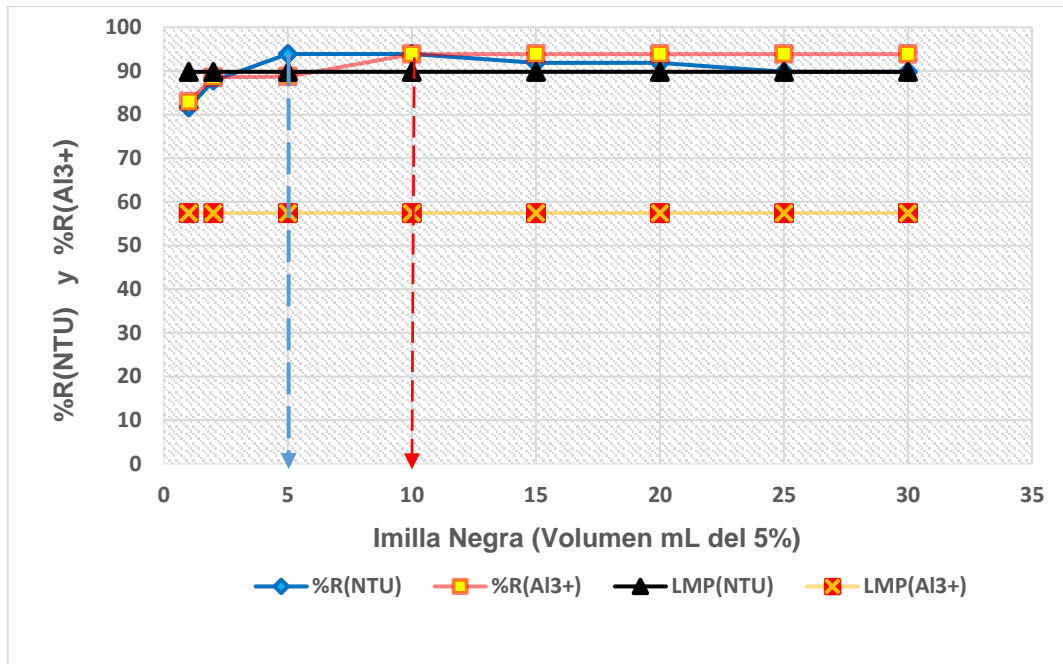


Figura 10. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla negra + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+})

D. Evaluación de la dosis óptima del floculante ayuda de harina de papa deshidratada variedad Imilla rosada, utilizando coagulante Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua.

La tabla 25 y figura 11, muestran los resultados de la remoción de turbiedad (NTU) y aluminio residual (Al^{3+}), utilizando la dosis óptima determinada del coagulantes Policloruro de aluminio que corresponde a 5 mL del 1% de concentración, con adición de diferentes volúmenes de concentración del 1%(p/v) del floculante ayuda harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad imilla rosada. El mayor rendimiento de remoción de turbiedad (NTU) fue de 95,91% (%R) y la remoción del Aluminio residual (Al^{3+}) fue del 93,83%R quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua; cuyo valor de remoción corresponden para el volumen óptimo de 10 mL del floculante ayuda; ambas cantidades de remoción se encuentran por debajo de los límites

máximo permisibles (LMP) del agua para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM), por lo tanto, el agua natural tratada es apto para consumo humano. ver certificación de análisis de aluminio residual (Anexo 2.9.)

Tabla 25. Evaluación de dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al)

N	Policloruro Aluminio (mL) al 1%	Imilla Rosado (mL)1%	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al ³⁺)	Cf (Al ³⁺)	%R (Al ³⁺)
1	5	1	49	9	81,63	0,47	0,068	85,53
2	5	2	49	6	87,76	0,47	0,064	86,38
3	5	5	49	2	95,91	0,47	0,137	70,85
4	5	10	49	3	93,87	0,47	^b < 0,029	93,83
5	5	15	49	4	91,83	0,47	0,062	86,80
6	5	20	49	4	91,83	0,47	^b < 0,029	93,83
7	5	25	49	4	91,83	0,47	^b < 0,029	93,83
8	5	30	49	4	91,83	0,47	^b < 0,029	93,83
LMP			49	5	89,79	0,47	0,200	57,45

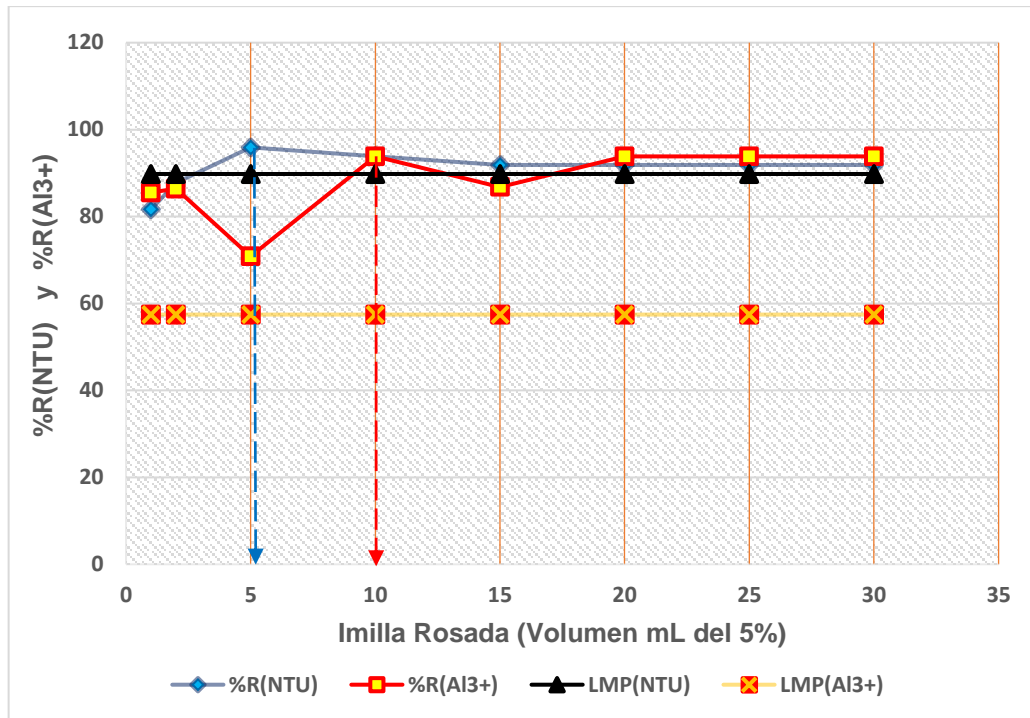


Figura 11. Determinación de la dosis óptima del floculante ayuda Imilla rosada + Policloruro de aluminio óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+})

4.2.3. Evaluación del pH óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, con coagulante Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio óptimo y floculantes ayuda harina de papa deshidratada.

El grado de absorción del aluminio en aguas, es función de varios parámetros; dentro de estos tenemos el tipo de la sal de aluminio administrada, el pH (influye en la solubilidad del aluminio) y la biodisponibilidad. Si tenemos la condición del agua en medio ácido, con concentraciones de aluminio, el tratamiento del agua para remoción del aluminio debe realizarse mediante precipitación y para este objetivo se requiere realizar el ajuste del pH del agua desde un medio ácido donde el aluminio está en un estado soluble y se debe pasar a un estado insoluble mediante un ajuste del pH a medio básico con solución de hidróxido de calcio o de soda cáustica (Miranda, 2012), dentro de un margen insoluble con pH mayor a 8, en el que se lograra que sea apto para



la sedimentación del aluminio y así mismo que el agua sea apto para el consumo humano, en este proceso se debe controlar el pH del agua el que debe encontrar en un rango de pH entre 6,5 y 8,5 (WQA, 2014). Las sustancias que contienen aluminio y que están en el agua, estas son insolubles en intervalos de pH de 6,5 a 8,5 por presencia de ligandos formadores de complejos y en este intervalo de pH, en el cual se tienen la presencia del monómero Al^{3+} , disueltos en el agua. (Srinivasan. 1999). Por lo tanto, en el tratamiento del agua por procesos de coagulación y floculación es importante realizar el control del pH.

Para el proceso experimental de remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, utilizando coagulantes Sulfato de aluminio, Policloruro de aluminio y floculantes ayuda de harina de papa deshidratada (harina de chuño) es necesario considerar el control del pH óptimo para el tratamiento del agua natural para consumo humano. En las tablas y figuras continuas se exponen el proceso experimental de remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua a diferentes pH, del cual se ha elegido el pH óptimo de control.

A. Determinación del pH óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, utilizando coagulante Sulfato de aluminio óptimo y floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla negra.

La evaluación para determinar el pH óptimo, para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, utilizando coagulante Sulfato de aluminio de dosis óptimo (5 mL del 1%) y floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla negra de dosis óptimo (2 mL del 1%); los resultados de la evaluación se exponen en la tabla 26 y figura 12; de estos resultados se tiene que a pH 7,3 se logra el mayor porcentaje de remoción de turbiedad (NTU) de 93,84%R y una remoción de 93,83%R para el aluminio residual (Al^{3+}) quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua; ambas

cantidades de remoción se encuentran por debajo de los límites máximo permisibles (LMP) del agua para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM), por lo tanto, el agua natural tratada es apto para consumo humano. ver certificación de análisis de aluminio residual (Anexo 2.10.)

Tabla 26. pH Óptimo para Remoción Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra

N	Sulfato Aluminio (mL) 1%	Imilla Negra (mL)1%	pH	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al ³⁺)	Cf (Al ³⁺)	%R (Al ³⁺)
1	5	2	6,5	49	4	91,84	0,47	^b < 0,029	93,83
2	5	2	6,8	49	4	91,84	0,47	^b < 0,029	93,83
3	5	2	7,0	49	4	91,84	0,47	^b < 0,029	93,83
4	5	2	7,3	49	3	93,84	0,47	^b < 0,029	93,83
5	5	2	7,5	49	4	91,84	0,47	^b < 0,029	93,83
6	5	2	7,8	49	5	89,79	0,47	^b < 0,029	93,83
7	5	2	8,0	49	5	89,79	0,47	^b < 0,029	93,83
8	5	2	8,5	49	5	89,79	0,47	^b < 0,029	93,83
LMP				49	5	89,79	0,47	0,20	57,45

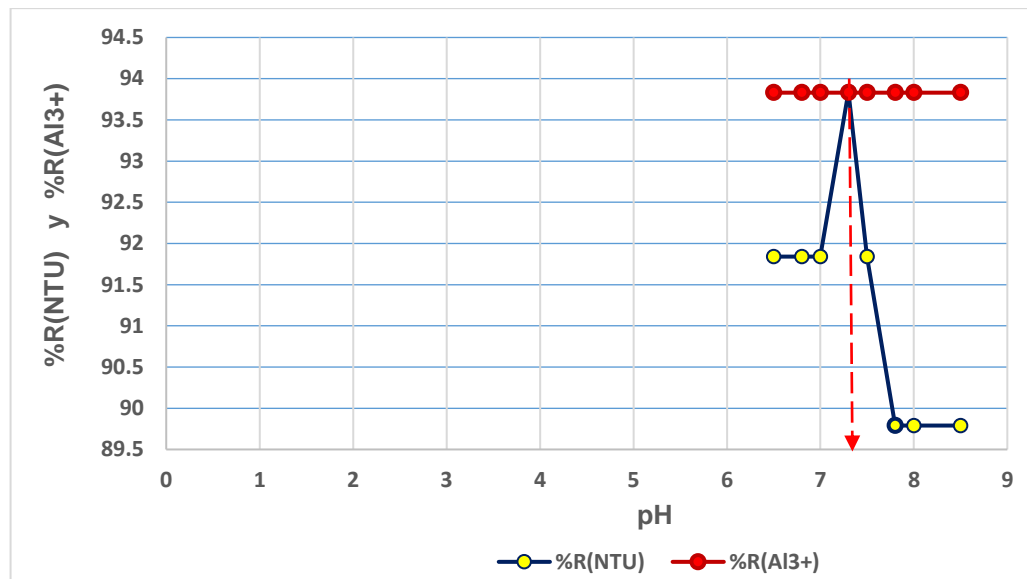


Figura 12. pH Óptimo para Remoción Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra

B. Determinación del pH óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, con coagulante de Sulfato de aluminio óptimo y floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla rosada.

La evaluación para determinar el pH óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, con uso de coagulante Sulfato de aluminio de dosis óptimo (5 mL del 1%) y floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla negra de dosis óptimo (5 mL del 1%), los resultados de la evaluación se exponen en la tabla 27 y figura 13; de esta se tiene que a pH 7,2 se logra el mayor porcentaje de remoción de turbiedad (NTU) de 93,87% (%R) y una remoción de 93,83%R para el aluminio residual (Al^{3+}) quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua; ambas cantidades de remoción se encuentran por debajo de los límites máximo permisibles (LMP) del agua para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM), por lo tanto, el agua natural tratada es apto para consumo humano. ver certificación de análisis de aluminio residual (Anexo 2.11.)

Tabla 27. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Rosado

N	Sulfato Aluminio (mL) 1%	Imilla Rosado (mL)1%	pH	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al^{3+})	Cf (Al^{3+})	%R (Al^{3+})
1	5	5	6,5	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
2	5	5	6,7	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
3	5	5	7,0	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
4	5	5	7,2	49	3	93,87	0,47	$b < 0,029$	93,83
5	5	5	7,5	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
6	5	5	7,8	49	5	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
7	5	5	8,0	49	5	89,79	0,47	$b < 0,029$	93,83
8	5	5	8,5	49	5	89,79	0,47	$b < 0,029$	93,83
LMP				49	5	89,79	0,47	0,20	57,45

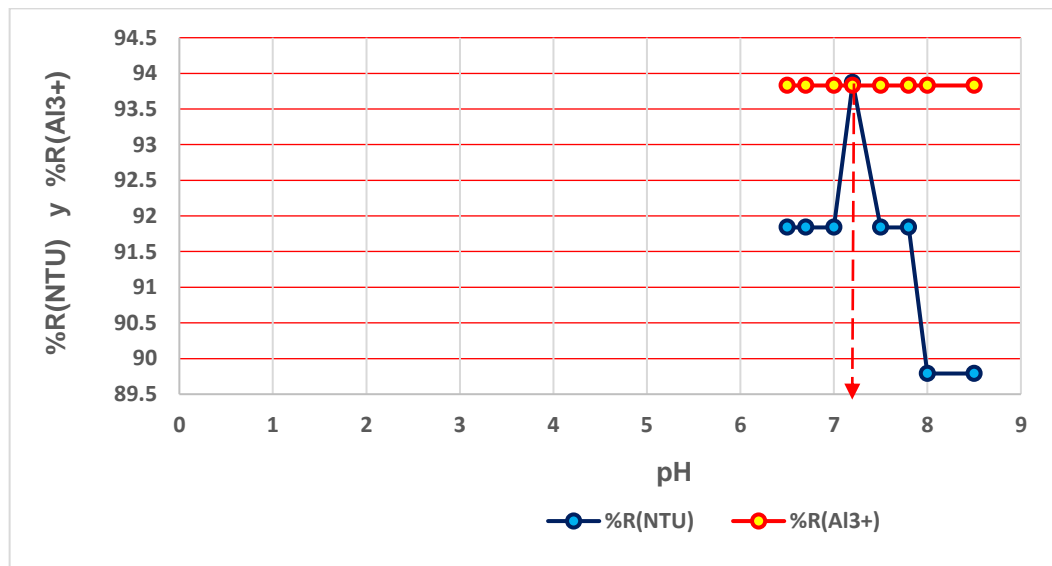


Figura 13. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) con Sulfato de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Rosado

C. Determinación del pH óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, con coagulante policloruro de aluminio óptimo y con floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla negra.

La evaluación para determinar el pH óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, con uso de coagulante de policloruro aluminio de dosis óptimo de (5 mL del 1%) y floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla negra de dosis óptimo de (5 mL del 1%). Los resultados de las evaluaciones se exponen en la tabla 28 y figura 14; de esta se tiene que a pH 7,3 se logra el mayor porcentaje de remoción de turbiedad (NTU) de 95,91% (%R) y una remoción de 93,83% (%R) para el aluminio residual (Al^{3+}) quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua; ambas cantidades de remoción se encuentran por debajo de los límites máximo permisibles (LMP) del agua para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM), por lo tanto, el agua natural tratada es apto para consumo humano. ver certificación de análisis de aluminio residual (Anexo 2.3.)

Tabla 28. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) con Policloruro de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra

N	Policloruro Aluminio (mL) al 1%	Imilla Negra (mL)1%	pH	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al^{3+})	Cf (Al^{3+})	%R (Al^{3+})
1	5	5	6,5	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
2	5	5	6,8	49	3	93,88	0,47	$b < 0,029$	93,83
3	5	5	7,1	49	3	93,88	0,47	$b < 0,029$	93,83
4	5	5	7,3	49	2	95,91	0,47	$b < 0,029$	93,83
5	5	5	7,5	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
6	5	5	7,8	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
7	5	5	8,0	49	5	89,79	0,47	$b < 0,029$	93,83

8	5	5	8,4	49	5	89,79	0,47	$b < 0,029$	93,83
LMP				49	5	89,79	0,47	0,20	57,45

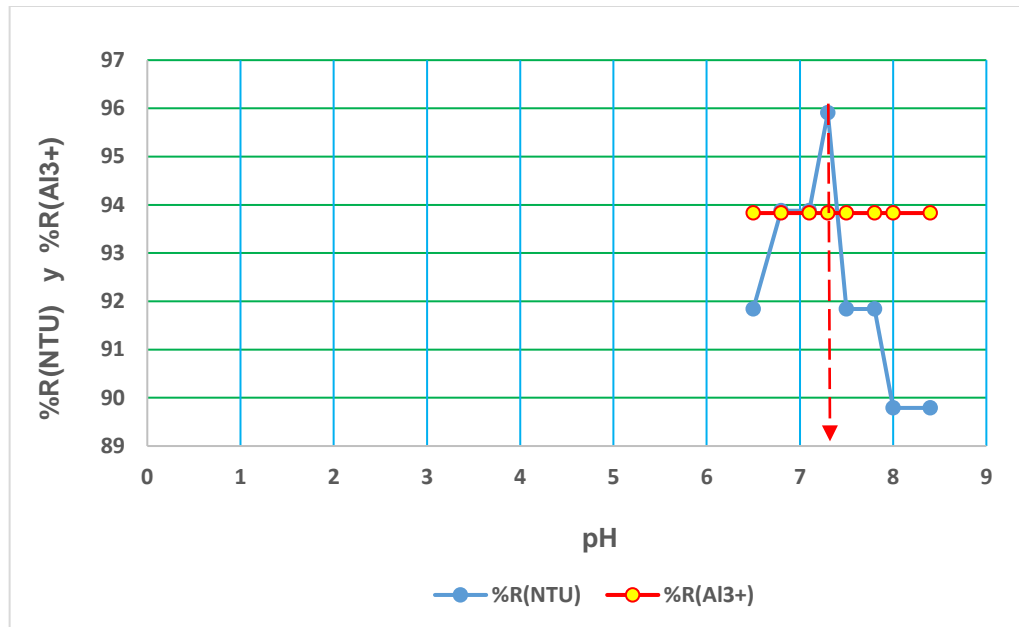


Figura 14. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) con Policloruro de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Negra

D. Determinación del pH óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, con coagulante policloruro de aluminio óptimo y floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla rosado.

La evaluación para determinar el pH óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) del agua, con uso de coagulante policloruro aluminio de dosis óptimo de (5 mL del 1%) y floculante ayuda harina de papa deshidratada Imilla rosado de dosis óptimo de (2 mL del 1%), los resultados se exponen en la tabla 29 y figura 15; de esta evaluación se tiene que a pH 7,3 se logra el mayor porcentaje de remoción de turbiedad (NTU) de 93,88%R y una remoción de 93,83%R para el aluminio residual (Al^{3+}) quedando en concentración de trazas de aluminio en el agua; ambas cantidades de remoción se encuentran por debajo de los límites máximo permisibles (LMP) del agua

para consumo humano (DS. N° 004-2017-MINAM), por lo tanto, el agua natural tratada es apto para consumo humano. ver certificación de análisis de aluminio residual (Anexo 3.3.4)

Tabla 29. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) con Policloruro de aluminio + Flocculante Ayuda Imilla Rosado

N	Policloruro Aluminio (mL) al 1%	Imilla Rosado (mL)1%	pH	Co (NTU)	Cf (NTU)	%R (NTU)	Co (Al^{3+})	Cf (Al^{3+})	%R (Al^{3+})
1	5	5	6,5	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
2	5	5	6,8	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
3	5	5	7,0	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
4	5	5	7,3	49	3	93,88	0,47	$b < 0,029$	93,83
5	5	5	7,4	49	3	93,88	0,47	$b < 0,029$	93,83
6	5	5	7,6	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
7	5	5	8,1	49	4	91,84	0,47	$b < 0,029$	93,83
8	5	5	8,4	49	5	89,79	0,47	$b < 0,029$	93,83
LMP				49	5	89,79	0,47	0,20	57,45

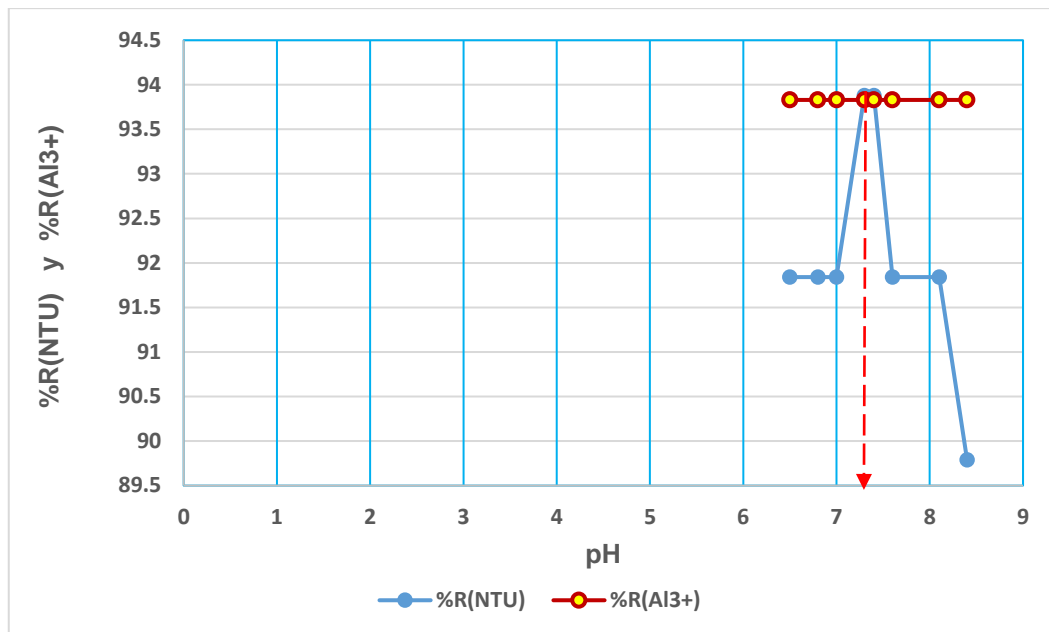


Figura 15. pH Óptimo para Remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al^{3+}) con Policloruro de aluminio + Floculante Ayuda Imilla Rosada

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Diseño experimental para la remoción de turbiedad y aluminio residual.

En la investigación se utilizó el diseño experimental ANOVA de un factor, para evaluar en el agua el proceso de tratamiento por floculación con Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, con adición de floculantes ayuda, harina de papa deshidratada (harina de chuño); para remoción de turbiedad y del aluminio residual, en aguas del río Coata; para tal fin se empleó el software: STATGRAPHICS CENTURIÓN XIX. versión 19 (64-bits)

Se realizaron los análisis estadísticos de:

4.3.1. Análisis unifactorial para proceso de floculación con Sulfato de aluminio.

- El análisis de ANOVA, para remoción de turbiedad (NTU) por Sulfato de aluminio, se realizó a partir de los datos de evaluación de la dosis óptima de la Tabla 20.

La tabla 30, muestra los resultados del ANOVA, dado que el valor “p” (0,000) es menor a $\alpha = 0,05$, es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después

de eliminar la turbiedad con el sulfato de aluminio, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que, el sulfato de aluminio tiene efecto en la eliminación de la turbiedad (NTU), utilizando el volumen óptimo de 5 mL de sulfato de aluminio, por tener el mayor % de eliminación de turbiedad, del 91,84 % (%R) de remoción. El reactivo sulfato de aluminio hidratado es ampliamente utilizada para tratamiento de aguas como coagulante-floculante, en procesos hidrodinámicos para separación de sólidos, en especial de las partículas coloidales; sus características deben cumplir con las normas internacionales, de productos químicos para el tratamiento del Agua ANSI/AWWA B403-93. (Industrial y Comercial Química Andina S.A.C. R.U.C.: 20100295891- Perú). La evaluación del tratamiento de la remoción de la turbidez (NTU) del agua reporta, que llegan a tener concentraciones de turbiedad por debajo de los valores del Límite Máximo Permissible (LMP) que corresponde a $5 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$ para la turbiedad del agua, según el (DS. 004-2017-MINAM).

Tabla 30. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por Sulfato de aluminio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	6,889,000	1	6,889,000	861,125	0,000
Dentro de grupos	112,000	14	8,000		
Total	7,001,000	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para remoción de turbiedad (NTU) por sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla negra; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 22.

En la tabla 31 se observa la probabilidad “p” de la razón-F es menor a $\alpha = 0,05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar la turbiedad con el sulfato de aluminio y el floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla negra, con un nivel del 95,0% de confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación de la turbiedad, utilizando un volumen de 5 mL de sulfato de aluminio (dosis óptimo) y con la adición del floculante ayuda se optimizó la eliminación de turbiedad, ascendiendo al 91,84 % (%R) de remoción de la turbiedad NTU. Este resultado es ratificado por los estudios realizados por Chalco (2016), debido a que el floculante sulfato de aluminio con adición de almidón de papa, debido a que esta última es un auxiliar eficiente en mejorar la eliminación de la turbiedad NTU de 700 NTU a 5,82 NTU.

Tabla 31. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla negra.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p.
Entre grupos	7,482,250	1	7,482,250	1,760,529	0,000
Dentro de grupos	59,500	14	4,250		
Total	7,541,750	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para remoción de turbiedad (NTU) por sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla rosada; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 23.

La tabla 32 muestra la probabilidad “p” de la razón-F es menor a $\alpha = 0,05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar la turbiedad (NTU) con sulfato de aluminio y el floculante ayuda harina de papa

deshidratada (chuño) de la variedad imilla rosado, con un nivel del 95,0% de confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación de la turbiedad, utilizando la dosis óptima equivalente al volumen de 5 mL de sulfato de aluminio y el floculante ayuda optimiza a tener mayor % de eliminación de turbiedad, al 93,87% (%R). El estudio de investigación es ratificado por Chalco, (1016) y por Guo et al., (2015) que en su estudio utilizó almidón de patata como biofloculante con el que logró eliminar la turbidez del agua alcanzando un rendimiento del 81.7%, a pH 7,5. Así mismo Másmela, (2017) indica que la investigación determinó que los coagulantes de los almidones evaluados de yuca, patatas y de plátano pueden ser utilizados como co-ayudantes en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas.

Tabla 32. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por Sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p.
Entre grupos	7,700,063	1	7,700,063	3,491,526	0,000
Dentro de grupos	30,875	14	2,205		
Total	7,730,938	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para la remoción de aluminio residual (Al^{3+}), por Sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla negra; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 22.

La Tabla 33, muestra la probabilidad “p” de la razón-F que es menor a $\alpha = 0.05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar el monómero de aluminio residual con el sulfato de aluminio y el floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla negra, con un nivel del 95.0% de

confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación del aluminio residual del agua, utilizando el volumen de 5 mL de sulfato de aluminio y el volumen óptimo de 2 mL del floculante ayuda, por tener el mayor % de eliminación del aluminio residual, del 93,83% (%R). Resultados similares fue obtenido por Cortes (1916), utilizando almidón catiónico como floculante, para remoción de turbidez y componentes de minerales ionizados teniendo altas tazas de remoción a valores altos de pH (pH 11,9); estos resultados se deben a que los minerales ionizados en el agua, sedimentan en forma de lodos a valores altos de pH y así mismo la harina de la papa deshidratada (harina de chuño) tiene el comportamiento catiónico debido a que fue activada en medio ácido (Herrera, 2015).

Tabla 33. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla negra.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p.
Entre grupos	0,708	1	0,708	6,208,395	0,000
Dentro de grupos	0,002	14	0,000		
Total	0,709	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para la remoción de aluminio residual (Al^{3+}), por sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla rosada; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 23.

La Tabla 34, muestra la probabilidad “p” de la razón-F es menor a $\alpha=0,05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar el aluminio residual con el sulfato de aluminio y el floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla rosado, con un nivel del 95,0% de confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación del aluminio residual del agua, utilizando el volumen de 5

mL de sulfato de aluminio y del floculante ayuda que es la dosis óptima, por tener el mayor % de eliminación del aluminio residual, del 93,83% (%R). Resultados similares son ratificados por Cortes (1916), utilizando almidón catiónico como floculante para remoción de turbidez y componentes de minerales ionizados que tienen alta eficiencia a altos pH (pH 11,9); estos resultados se deben a que los minerales ionizados en el agua, sedimentan en forma de lodos a valores altos de pH. Herrera, (2015). Indica que la harina de la papa deshidratada (harina de chuño) tiene el comportamiento catiónico debido a su activación en medio ácido. Se tienen reportes de estudios similares realizados por Howe et al., (2017), indica que el residual aluminio insoluble, presentes en el agua, se encuentran disociados para producir iones trivalentes Al^{+3} y al hidratarse forman sus respectivos complejos acuometálicos, de las sales de aluminio $Al(H_2O)_6^{+3}$; donde el ion metálico tiene un número de coordinación de 6 y las moléculas de agua complejizadas suelen perder protones adicionales, para formar flóculos de $Al(H_2O)_3(OH)_3^0$; que precipitan como flóculos de hidróxido de aluminio Al^{+3} , con remoción del ion metálico insoluble de aluminio, proceso similar que ha sucedido en el presente tratamiento del aluminio residual.

Tabla 34. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Sulfato de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	0,743	1	0,743	9,109,121	0,000
Dentro de grupos	0,001	14	0,000		
Total	0,744	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

4.3.2. Análisis unifactorial para proceso de floculación con Policloruro de aluminio.

- El análisis de ANOVA, para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio, se realizó a partir de los datos de evaluación de la dosis óptima de la Tabla 21.

En la tabla 35 se muestra los resultados del ANOVA, debido a que $p(0,000) < \alpha (0,05.)$, es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar la turbiedad con el policloruro de aluminio, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que, el policloruro de aluminio tiene efecto en la eliminación de la turbiedad, con el uso de un volumen óptimo de 5 mL de policloruro de aluminio, por tener el mayor % de eliminación de turbiedad que corresponde al 93,87% (%R) de remoción. El reactivo Policloruro de aluminio es un derivado polimérico del aluminio, por cuya propiedad últimamente es muy utilizada para tratamiento de aguas como coagulante-floculante, por formar flóculos de mayor diámetro y volumen en un amplio rango de pH, para separación de sólidos en el agua, de interés para eliminación de partículas coloidales y por producción de menor cantidad de lodos y las características del policloruro utilizado se basan en la norma ASTM D2035-80 (2003) Standard Practice for Coagulation-flocculation Jar Test of Water. (Industrial y Comercial Química Andina S.A.C. R.U.C.: 20100295891- Perú). La evaluación del uso del coagulante-floculante policloruro de aluminio para el tratamiento de la remoción de turbidez (NTU) del agua, se logró tener concentraciones de turbiedad inferiores a los valores del Límite Máximo Permisible (LMP) que corresponde a $5 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$ para la turbiedad del agua, según el (DS. 004-2017-MINAM).

Tabla 35. ANOVA para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
---------------------	-------------------	----	------------------	---------	---------



Entre grupos	7,182,563	1	7,182,563	915,184	0,000
Dentro de grupos	109,875	14	7,848		
Total	7,292,438	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla negra; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 24.

En la tabla 36 se muestra la probabilidad “p” de la razón-F, que es menor a $\alpha = 0,05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar la turbiedad con el policloruro de aluminio y el floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla negra, con un nivel del 95,0% de confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación de la turbiedad (NTU), con el volumen de 5 mL de policloruro de aluminio y con un volumen óptimo de 10 mL del floculante ayuda, determinaciones que se deben por tener el mayor % de eliminación de turbiedad del agua que corresponde al 93,87% (%R). El estudio es ratificado por trabajos de investigación realizado por Chama (2017) utilizando almidón de papa y policloruro de aluminio con el cual remocionó la turbiedad del agua de 16,1 NTU a 9,1 NTU, concluyendo que el almidón de papa es un floculante auxiliar eficiente para optimizar la eliminación de la turbiedad del agua. Tito (2018), en su trabajo de investigación sobre la eficacia del almidón de tres variedades de papa para floculación con reactivos de sales de aluminio, concluye que el almidón de la variedad Imilla negra presento el mejor promedio de eliminación de la turbiedad del agua que corresponde a un 93,58% de remoción y las otras dos variedades reportan menor remoción a pH 7,08.

Tabla 36. ANOVA para la para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla negra.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	7,788,063	1	7,788,063	4,057,037	0,000
Dentro de grupos	26,875	14	1,920		
Total	7,814,938	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla rosada; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 25.

La Tabla 37 muestra la probabilidad “p” de la razón-F que es menor a $\alpha = 0,05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar la turbiedad (NTU) con el policloruro de aluminio y el floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla rosada, con un nivel del 95,0% de confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación de la turbiedad, con el volumen de 5 mL de policloruro de aluminio y el volumen óptimo de 5 mL, del floculante ayuda, cuyos resultados de evaluación reportan el mayor % de eliminación de turbiedad, que asciende al 95,91% (%R) de remoción. Chama (2017) utilizó almidón de papa y policloruro de aluminio para remover la turbiedad del agua de 16,1 NTU a 9,1 NTU, concluyéndose que el almidón de papa es un floculante auxiliar eficiente para optimizar la eliminación de la turbiedad del agua.

Tabla 37. ANOVA para la para remoción de turbiedad (NTU) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	7,921,000	1	7,921,000	3,465,438	0,000
Dentro de grupos	32,000	14	2,286		
Total	7,953,000	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para la remoción de aluminio residual (Al^{3+}), por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla negra; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 24.

La Tabla 38, muestra la probabilidad “p” de la razón-F que es menor a $\alpha = 0,05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar el monómero de aluminio residual con el policloruro de aluminio y el floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla negra, con un nivel del 95,0% de confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación del aluminio residual, utilizando un volumen de 5 mL de policloruro de aluminio y para un volumen óptimo del floculante ayuda de 10 mL, resultado que se determinó por tener el mayor % de eliminación del aluminio residual, que corresponde al 93,83% (%R) de remoción. Cortes (1916) en su trabajo de investigación obtuvo resultados similares utilizando almidón catiónico como floculante para remoción de turbidez y componentes de minerales ionizados a valores altos de pH (pH 11,9); estos resultados se deben a que los minerales ionizados en el agua, sedimentan en forma de lodos a valores altos de pH. Herrera, (2015). Indica que la harina de la papa deshidratada (harina de chuño) tiene el comportamiento catiónico debido a su activación en medio ácido.

Tabla 38. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla negra.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	0,734	1	0,734	4,029,109	0,000
Dentro de grupos	0,003	14	0,000		
Total	0,737	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

- Análisis de ANOVA, para la remoción de aluminio residual (Al^{3+}), por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla rosada; la evaluación se realizó a partir de los datos de dosis óptima de la Tabla 25.

La tabla 39, muestra la probabilidad “p” de la razón-F es menor a $\alpha = 0,05$; es decir, existe diferencia significativa entre la media antes y después de eliminar el monómero de aluminio residual con el policloruro de aluminio y el floculante ayuda harina de papa deshidratada (chuño) de la variedad imilla rosada, con un nivel del 95,0% de confianza. El tratamiento tiene efecto en la eliminación del aluminio residual, con el uso de volumen de 5 mL de policloruro de aluminio y con el volumen de 10mL óptimo del floculante ayuda, determinado por tener el mayor % de eliminación del aluminio residual, del 93,83% (%R). Estudios similares son ratificados por Cortes (1916), utilizando almidón catiónico como floculante para remoción de turbidez y componentes de minerales ionizados, estas tuvieron alta eficiencia a pH (pH 11,9); estos resultados se deben a que los minerales ionizados en el agua, sedimentan en forma de lodos a valores altos de pH. Herrera, (2015), Indica que la harina de la papa deshidratada (harina de chuño) tiene el comportamiento catiónico debido a su activación en medio ácido. Howe et al., (2017), indica que el residual aluminio insoluble, presente en el agua, se encuentran

disocia para producir iones trivalentes Al^{+3} , y al hidratarse forman sus respectivos complejos acuometálicos, de sales de aluminio $Al(H_2O)_6^{+3}$; donde el ion metálico tiene un número de coordinación de 6 y las moléculas de agua complejizadas suelen perder protones adicionales, para formar flóculos de la estructura de $Al(H_2O)_3(OH)_3^0$; que posteriormente precipitan como flóculos de hidróxido de aluminio Al^{+3} , con remoción del ion metálico insoluble de aluminio, proceso similar que ha sucedido en el presente tratamiento del aluminio residual.

Tabla 39. ANOVA para la remoción de aluminio residual (Al) por Policloruro de aluminio + floculante ayuda imilla rosada.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	0,686	1	0,686	987,974	0,000
Dentro de grupos	0,010	14	0,001		
Total	0,696	15			

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

4.3.3. Análisis de varianza de la cantidad de floculante de Imilla negra y rosada con el sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NUT)

Los resultados de Análisis de varianza de la cantidad de floculante de Imilla negra y rosada con el tratamiento de sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NUT), se muestran en la tabla 40.

Tabla 40. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NUT)

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: SULFATO de Al	6,0465	1	6,0465	35,78	0,0039



B: IMILLA_NEGRA & ROSADA	0,000131355	1	0,000131355	0,00	0,9791
AA	0,660114	1	0,660114	3,91	0,1193
AB	4,14122	1	4,14122	24,51	0,0078
BB	0,0864315	1	0,0864315	0,51	0,5140
Error total	0,67587	4	0,168967		
Total (corr.)	12,029	9			

R-cuadrada = 94,3813 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87,358 %

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de la remoción de la turbiedad (NTU) y en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica que se tienen el 94,3813% de la variabilidad de la remoción de la turbiedad. El estadístico R-cuadrada ajustada de 87,358%, es el más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

En la figura 16, el diagrama de Pareto nos indica que los factores que sobrepasan a la línea vertical azul, son significativos y se tiene que el factor, (A), sulfato de aluminio y el factor (AB) sulfato de aluminio con adición de floculantes ayuda imilla negra y rosada son significativos para la remoción de turbiedad por proceso de coagulación - floculación utilizando el volumen óptimo de 5 mL/L para el floculante (A), y floculantes (AB).

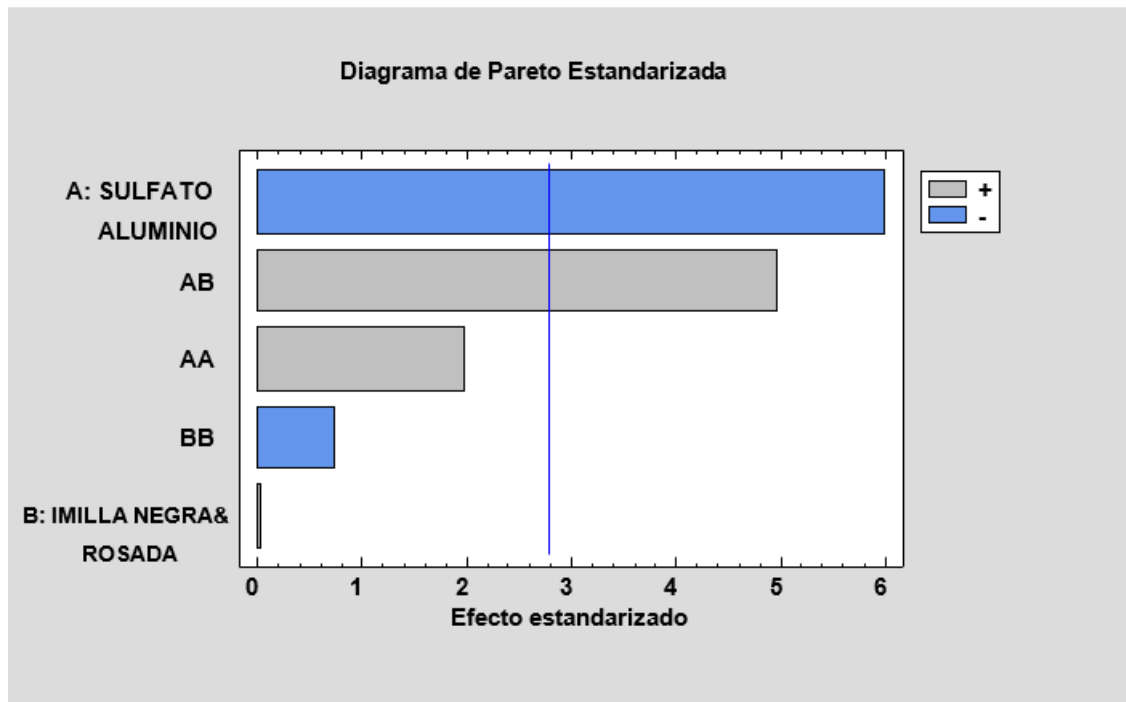
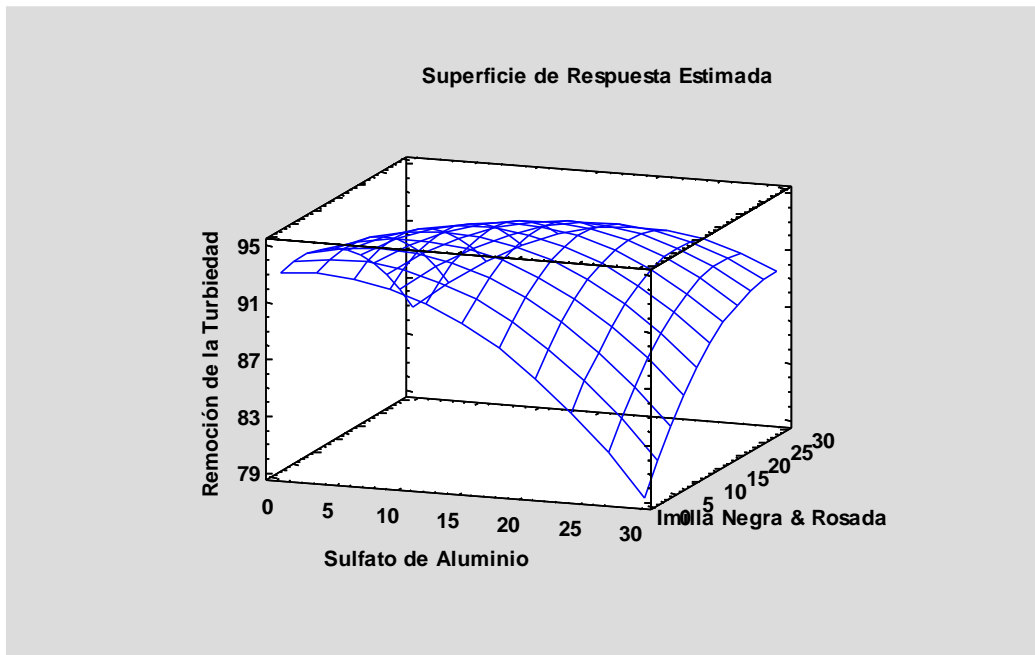


Figura 16. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NUT)

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN XIX

En la figura 17 se muestra la estimación de Remoción de la turbiedad en función del floculante Sulfato de aluminio con adición con floculantes ayuda de Imilla negra & rosada. La mayor altura de la superficie representa los valores más altos de la remoción de la turbiedad (NUT).



Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN XIX

Figura 17. Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con el Sulfato de aluminio para remoción de la turbiedad (NTU).

4.3.4. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante sulfato de aluminio para la remoción del Aluminio Residual (Al)

Los resultados de Análisis de varianza del tratamiento del floculante sulfato de aluminio con adición de floculantes ayuda de Imilla negra y rosada, para remoción del Aluminio residual (Al) del agua, se muestran en la tabla 41.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Aluminio Residual en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica que un 94.3691% de la variabilidad en Aluminio Residual ha sido removido. El estadístico R-cuadrada ajustada de 87,3304%. es el más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 41. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción del aluminio residual (Al)

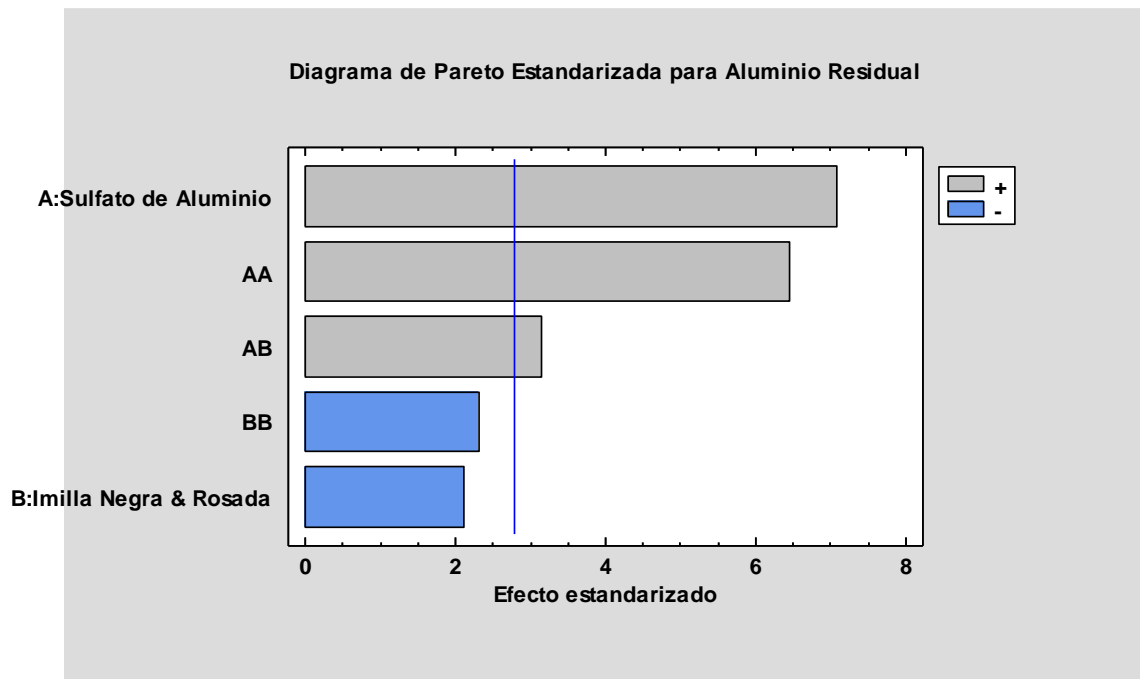
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Sulfato de Aluminio	128,76	1	128,76	50,22	0,0021
B: Imilla Negra & Rosada	11,4105	1	11,4105	4,45	0,1025
AA	106,703	1	106,703	41,62	0,0030
AB	25,1912	1	25,1912	9,83	0,0350
BB	13,706	1	13,706	5,35	0,0818
Error total	10,2551	4	2,56377		
Total (corr.)	182,121	9			

R-cuadrada = 94,3691 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87,3304 %

En el diagrama de Pareto figura 18, los factores que sobrepasan a la línea vertical azul, son significativos y se tiene que el factor (A) sulfato de aluminio, el factor (AA) sulfato de aluminio y el factor (AB) sulfato de aluminio con adición de floculante ayuda de imilla negra y rosada son significativos para el volumen óptimo de 5 mL/L de los floculantes (A) y (AB), para la remoción del aluminio residual por el proceso de coagulación - floculación.

Por lo tanto, el diagrama de Pareto nos indica que se tiene un buen tratamiento con sulfato de aluminio (A) y asimismo un buen tratamiento con sulfato de aluminio más la adición de floculantes ayuda (AB).

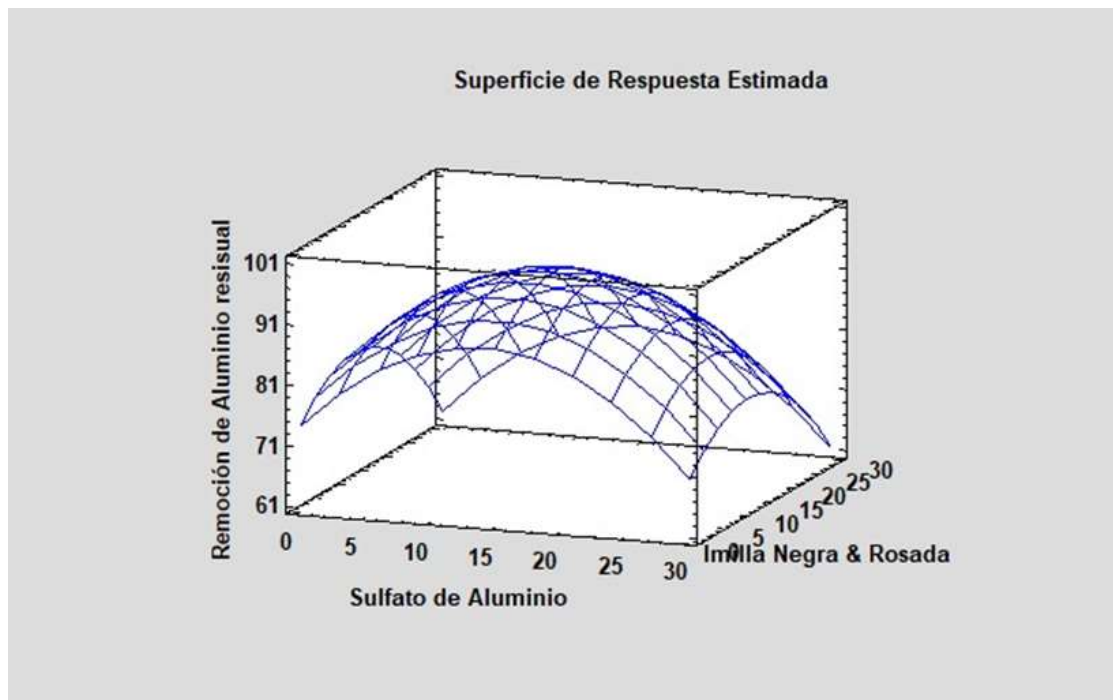


Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

Figura 18. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el floculante sulfato de aluminio para remoción de aluminio residual (Al)

En la figura 19 se muestra la estimación de la remoción del aluminio residual (Al) en función de Sulfato de aluminio y con adición de floculantes ayuda de Imilla negra & rosada. La mayor altura de la superficie representa los valores más altos de Remoción de aluminio residual.



Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN XIX

Figura 19. Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con el Sulfato de aluminio para remoción de aluminio residual.

4.3.5. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante policloruro de aluminio para remoción de la Turbiedad (NTU)

Los resultados de Análisis de varianza de la cantidad de floculante de Imilla negra y rosada con el tratamiento de policloruro de aluminio, para remoción del Turbiedad (NTU), se muestran en la tabla 42.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Remoción de la Turbiedad en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica que se tiene el 90,3116% de la variabilidad en Remoción de la Turbiedad. El estadístico R-cuadrada ajustada de 78,201%, es el más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 42. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con el uso de floculante policloruro de aluminio para remoción de la Turbiedad (NTU)

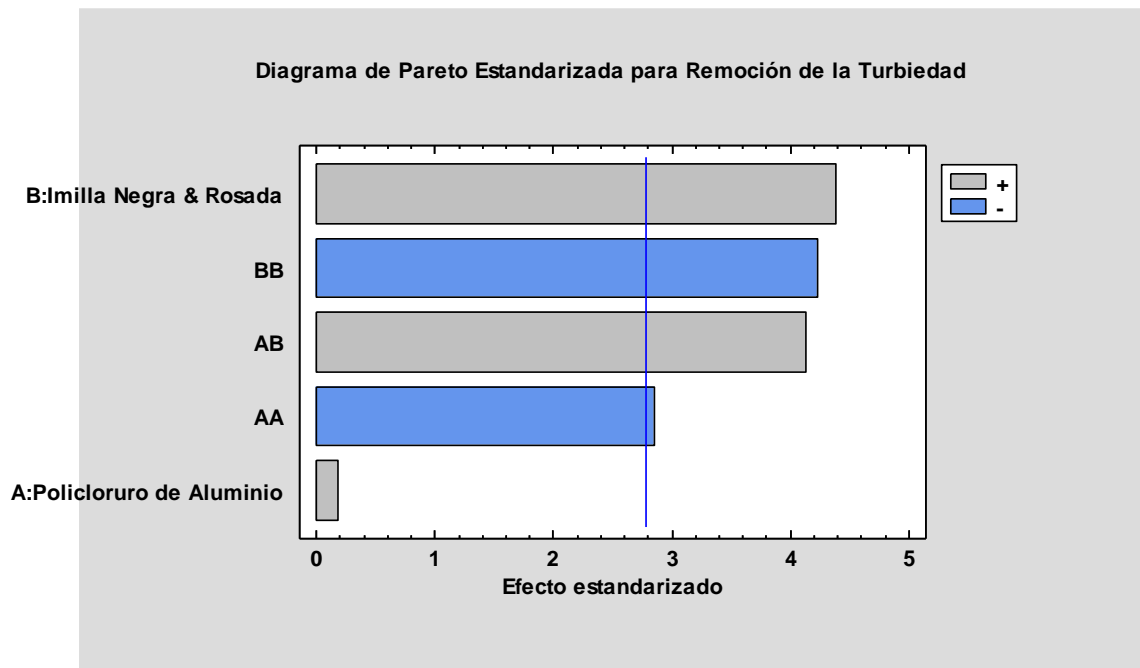
Fuente	Suma de Cuadrados	de G1	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Policloruro de Aluminio	0,00277524	1	0,00277524	0,03	0,8690
B: Imilla Negra & Rosada	1,7255	1	1,7255	19,22	0,0118
AA	0,730075	1	0,730075	8,13	0,0463
AB	1,53446	1	1,53446	17,10	0,0144
BB	1,60737	1	1,60737	17,91	0,0134
Error total	0,359038	4	0,0897595		
Total (corr.)	3,70584	9			

R-cuadrada = 90,3116 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 78,201 %

En la figura 20 los factores que sobrepasan a la línea vertical azul, son significativos y se tiene que el factor (B) Imilla negra & rosada, el factor (BB) policloruro de aluminio, el factor (AB) policloruro de aluminio y floculante ayuda imilla negra y rosada y el factor (AA) policloruro de aluminio son significativos para el volumen óptimo de 5 mL/L del floculante policloruro de aluminio y de igual volumen para los floculantes ayuda para la remoción de la turbiedad por proceso de coagulación - floculación.

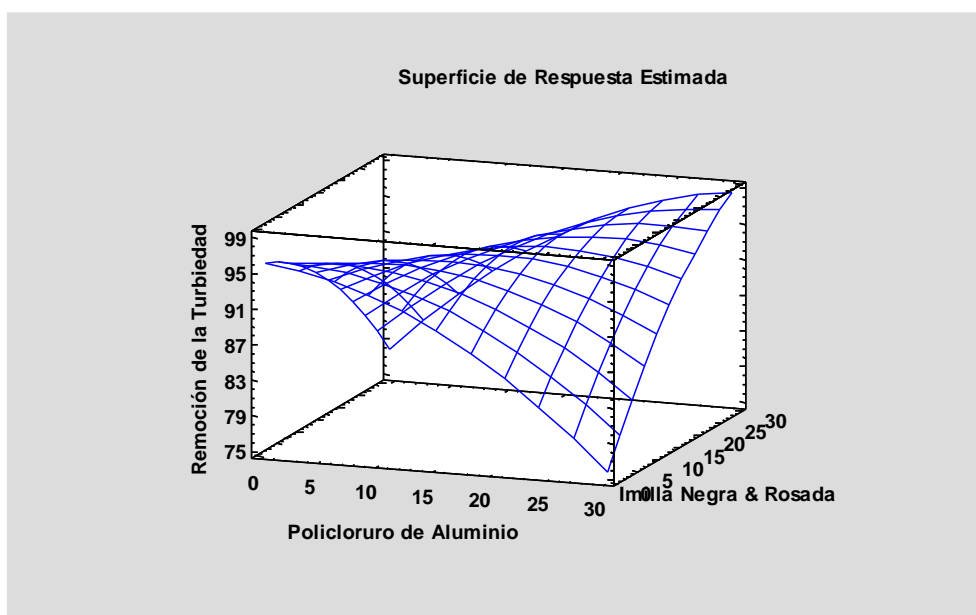
Por lo tanto, el diagrama de Pareto nos indica que se tiene un buen tratamiento con el uso de floculante policloruro de aluminio (A) y asimismo un buen tratamiento con el uso del floculante policloruro de aluminio con adición de floculantes ayuda (AB).



Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN XI

Figura 20. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante Policloruro de aluminio para remoción de la turbiedad (NTU)

Esta gráfica (figura 21) muestra la estimación de Remoción de la turbiedad en función del floculante Policloruro de aluminio, con adición de floculantes ayuda Imilla negra & rosada. La mayor altura de la superficie representa los valores más altos de Remoción de aluminio residual.



Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN XIX

Figura 21. Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con floculante policloruro de aluminio para remoción de turbiedad.

4.3.6. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante policloruro de aluminio para remoción del Aluminio residual (Al)

Los resultados de Análisis de varianza de la cantidad de floculante de Imilla negra y rosada con el tratamiento de policloruro de aluminio, para remoción del Aluminio residual (Al), se muestran en la tabla 43.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Remoción de aluminio residual en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica que se tiene un 99.8708% de la variabilidad en Remoción de aluminio residual. El estadístico R-cuadrada ajustada de 99.7674%, es el más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 43. Análisis de varianza de la cantidad de floculante de Imilla negra y rosada con el policloruro de aluminio para remoción del Aluminio residual (Al)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Policloruro de aluminio	0,7056	1	0,7056	149,9	0,0117
B: Imilla negra & rosada	0,4704	1	0,4704	9,99	0,0251
AA	67,7131	1	67,7131	1438,66	0,0000
AB	112,997	1	112,997	2400,78	0,0000



Error total	0,235333	5	0,0470667
Total (corr.)	182,121	9	

Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

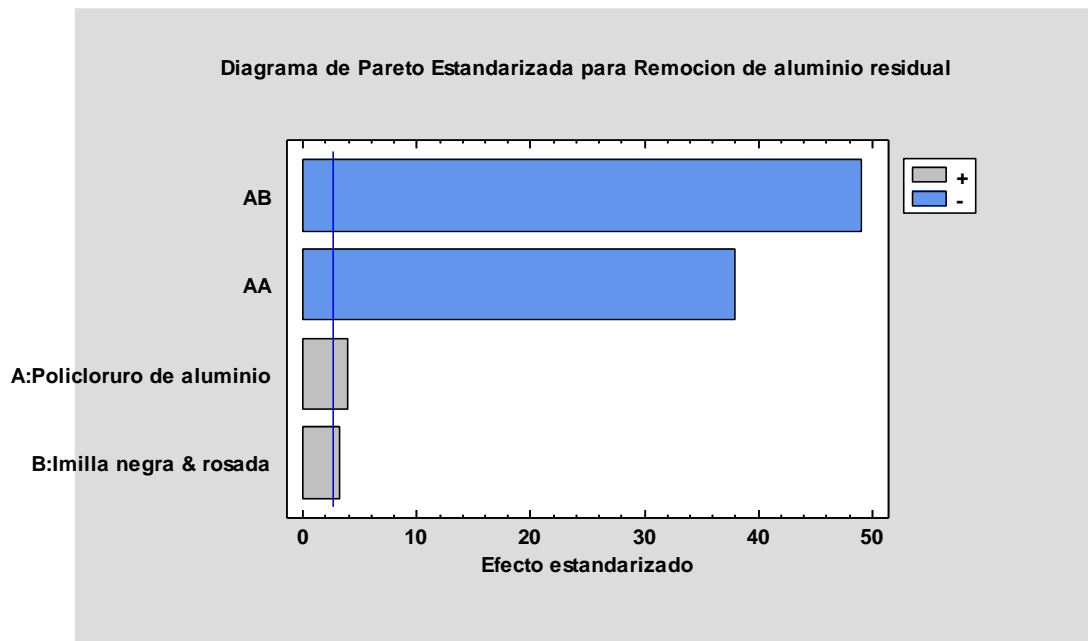
XIX

R-cuadrada = 99,8708 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,7674 por ciento

El gráfico de Pareto (figura 22) muestra cada uno de los efectos estimados en orden decreciente de importancia. La longitud de cada barra es proporcional al efecto estandarizado, el cual es el efecto estimado dividido entre su error estándar. La línea vertical puede utilizarse para juzgar cuáles efectos son estadísticamente significativos. Cualquier barra que se extienda más allá de la línea azul corresponde a efectos que son estadísticamente significativos con un 95.0% de nivel de confianza. En este caso, 4 efectos son significativos.

Por lo tanto, el diagrama de Pareto nos indica que se tiene el mejor tratamiento con el uso del floculante Policloruro de aluminio con adición de floculantes ayuda (AB), seguido del tratamiento con el floculante policloruro de aluminio, para la remoción de aluminio residual del agua.

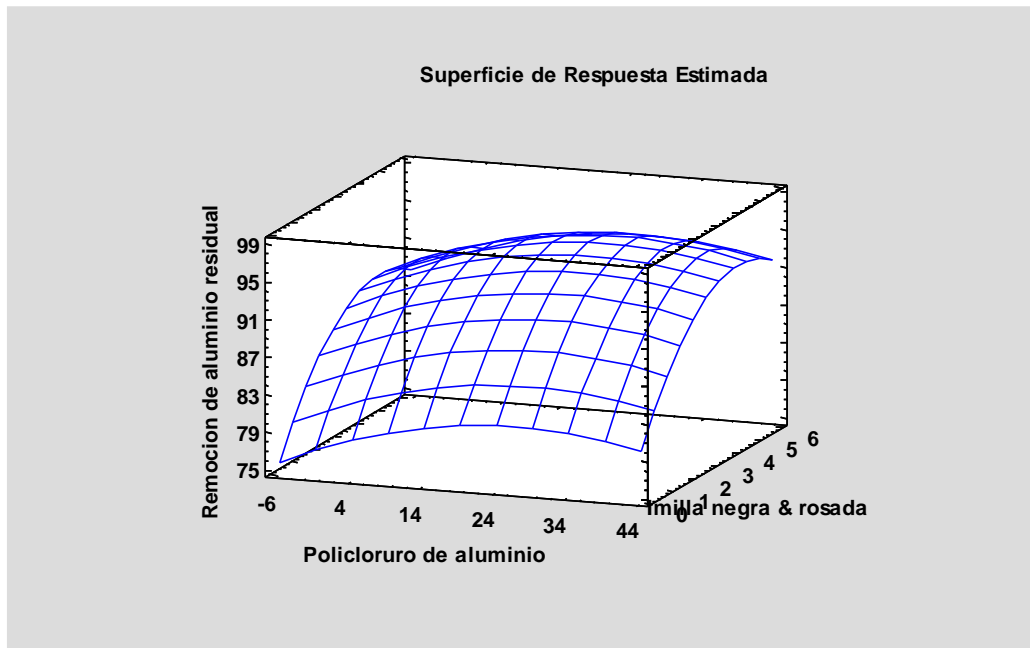


Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

Figura 22. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante Policloruro de aluminio para remoción del aluminio residual

En la figura 23 se muestra la estimación de Remoción de aluminio residual en función del floculante Policloruro de aluminio con adición de floculantes ayuda de Imilla negra & rosada. La mayor altura de la superficie representa los valores más elevados de Remoción de aluminio residual.



Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN XIX

Figura 23. Gráfico de superficie de respuesta de floculante ayuda Imilla negra y rosada con el floculante policloruro de aluminio para remoción de aluminio residual.

4.3.7. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con sulfato de aluminio y pH óptimo para la remoción de la Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al)

Los resultados de Análisis de varianza, de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con tratamiento del floculante sulfato de aluminio y el pH óptimo, para remoción de la Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al), se muestran en la tabla 44.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Remoción de turbiedad & Aluminio residual en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica que se tiene un 99,9978% de la variabilidad en la Remoción de turbiedad & Aluminio residual. El estadístico R-cuadrada ajustada es del 99,9849%, que es el más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 44. Análisis de varianza de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con sulfato de aluminio y pH óptimo para remoción de Turbiedad (NTU) y Aluminio residual (Al)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Sulfato de aluminio	2,05031	1	2,05031	6561,00	0,0079
B: imilla negra & rosada	0,0003125	1	0,0003125	1,00	0,5000
C: Ph	2,05031	1	2,05031	6561,00	0,0079
AB	8,30281	1	8,30281	26569,00	0,0039
AC	2,05031	1	2,05031	6561,00	0,0079
BC	0,0003125	1	0,0003125	1,00	0,5000
Error total	0,0003125	1	0,0003125		
Total (corr.)	14,4547	7			

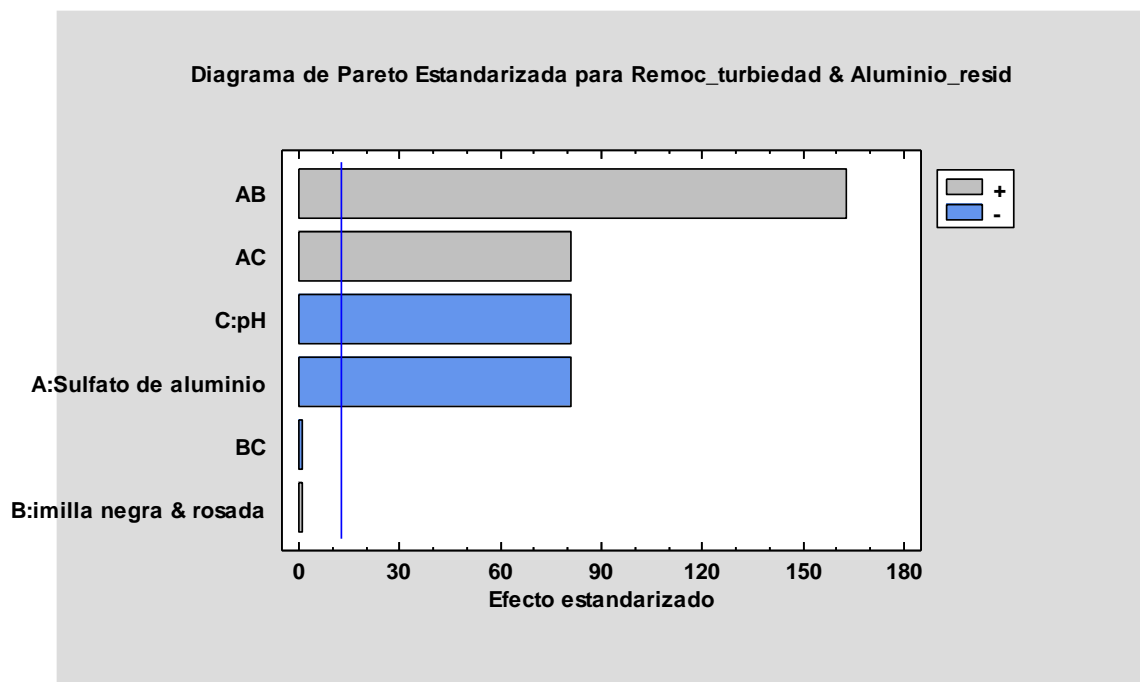
R-cuadrada = 99,9978 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,9849 %

El gráfico de Pareto (figura 24) muestra cada uno de los efectos estimados en orden decreciente de importancia. La longitud de cada barra es proporcional al efecto estandarizado, el cual es el efecto estimado dividido entre su error estándar. La línea vertical puede utilizarse para juzgar cuáles efectos son estadísticamente significativos. Cualquier barra que se extienda más allá de la línea corresponde a efectos que son estadísticamente significativos con un 95,0% de nivel de confianza. En este caso, 4 efectos son significativos.

Por lo tanto, el diagrama de Pareto nos indica que se tiene el mejor tratamiento con el uso del floculante sulfato de aluminio con adición de floculantes ayuda de Imilla negra y rosada (AB) y control a pH óptimo, seguido del tratamiento con el floculante

sulfato de aluminio y control a pH óptimo, para remoción de la turbiedad y aluminio residual.



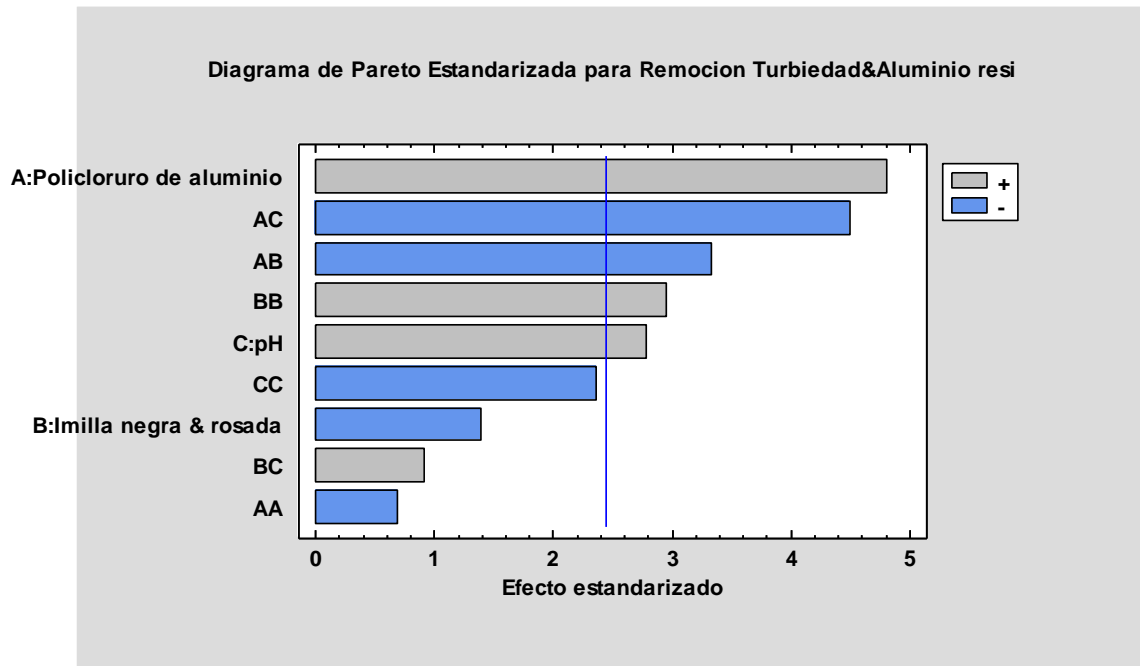
Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN XIX

Figura 24. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante sulfato de aluminio y pH óptimo para remoción de la turbiedad y aluminio residual.

En la figura 25 el gráfico de Pareto muestra cada uno de los efectos estimados en orden decreciente de importancia. La longitud de cada barra es proporcional al efecto estandarizado, el cual es el efecto estimado dividido entre su error estándar. La línea vertical puede utilizarse para juzgar cuáles efectos son estadísticamente significativos. Cualquier barra que se extienda más allá de la línea corresponde a efectos que son estadísticamente significativos con un 95,0% de nivel de confianza. En este caso, 5 efectos son significativos.

Por lo tanto, el diagrama de Pareto nos indica que se tiene el mejor tratamiento con el uso del floculante policloruro de aluminio y control a pH óptimo. Seguido del

tratamiento con el floculante policloruro de aluminio con adición de floculantes ayuda de Imilla negra y rosada (AB) y control a pH óptimo, para remoción de la turbiedad y aluminio residual.



Fuente: Resultados obtenidos a partir del software, STATGRAPHICS CENTURIÓN

XIX

Figura 25. Diagrama de Pareto Estandarizada de la cantidad de floculante ayuda de Imilla negra y rosada con floculante Policloruro de aluminio y pH óptimo para remoción de turbiedad y aluminio residual.



V. CONCLUSIÓN

- La caracterización se realizó por difracción de rayos X, teniendo en su estructura molecular los componentes de mayor floculación; para la harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra, (*Solanum tuberosum* ssp), conformada por Almidón del 61,87 % y hexacyanoferrico con 0,05 %. Para la harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Ccompis Imilla rosada (*Solanum tuberosum* ssp), conformada por Almidón del 57,77% y hexacyanoferrico con 05,38 %, responsables de la coagulación – floculación.
- La dosis óptima determinada para el proceso de floculación para los floculantes Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, fue de $5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de concentración del 1%, y con la adición de floculantes ayuda, de harina de papa deshidratada (harina de chuño) Imilla Negra e Imilla rosada con activación química ácida, la dosis óptima fue de $5\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$, de concentración del 1%; para la remoción de turbiedad y Aluminio residual en el tratamiento de aguas naturales para consumo humano.
- Se obtuvo la mayor remoción de turbiedad del 95,91% y de aluminio residual de 93,83% a un pH óptimo de 7,3 logrando estos resultados utilizando floculante Policloruro de Aluminio con adición de floculantes ayuda de harina de papa deshidratada de la variedad Imilla Negra. Para la variedad Imilla rosada con floculante Policloruro de Aluminio, se obtuvo la remoción de turbiedad del 93,88% y de aluminio residual del 93,83% a un pH óptimo de 7,3.
- Para el proceso de floculación por test de jarras, utilizando floculantes de y Policloruro de Aluminio para la mayor remoción de turbiedad del 95,91% se logró a un pH de 7,3 con adición de floculantes ayuda, de harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra y aluminio residual de aguas naturales para



consumo humano, con adición de floculantes ayuda, de harina de papa deshidratada (harina de chuño) de la variedad Imilla Negra y variedad Imilla rosada.



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con investigaciones para el tratamiento de aguas naturales, con floculantes orgánicos a fin de reducir la turbiedad en la temporada de lluvias, para las ciudades pequeñas que carezcan de plantas de tratamiento de agua potable.
- Se recomienda a los gobiernos locales tener un compromiso con la población, para una producción y consumo de agua potable de calidad.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, Carmona, Ludyng, N. (2011). Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante natural en el tratamiento de aguas Potables de la Planta “la diana”. Instituto Cenis de Colombia, Duitama, Colombia.
- Alatrística, G., Quiroz, A., & Butrón, M. (2015). Tratamiento de efluentes textiles por coagulación - floculación utilizando almidón de *Triticum Aestivum* L. como ayudante del proceso. *The Biologist*, 13, 297–312.
- Ayala, A., Montes, M. (2004). Almidones aniónicos y catiónicos. procesamiento de cereales y oleaginosas. Tesis pre grado, México Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Cabrera, Bermúdez. X., Fleites, Ramírez. M., Contreras, Moya. A. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "Desembarco del Granma" a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, vol. XXIX, núm. 3, septiembre-diciembre, 2009: 64-73
- Chalco, M. (2016). Determinación de la eficiencia del almidón de papa (*Solanum Tuberosum*) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Caplina. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann- Tacna; Facultad de Ingeniería; Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química.
- Chama, J. R. (2017). Evaluación del poder coagulante del almidón de papa variedad. (*Solanum tuberosum*) y policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016. Universidad José Carlos Mariátegui, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.



http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/202/Jenni_Tesis_titulo_201_7.pdf

- Choque, Quispe, D., Choque, Quispe, Y., Solano, Reynoso, A., Ramos, Pacheco, B. (2018). floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2): 298–309. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2018.2>.
- Dirk, Oliver. Krentz., Lohmann, Claudia., Schwar, Simona., Bratskay, Svetlana., Lieber, Tim., Laub, Johannes., Heinz, Thomas., Werner, Michael, Kulicke. (2006). Propiedades y Eficiencia de floculación de derivados de almidón altamente cationizado. *Biosynthesis Nutrition Biomedical*. Volumen 58, Edición 3-4. Abril 2006: 161-169.
- González, M., Hernández, C., & Kaehler, J. (1991). Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas. España.
- Guo, Junyuan., Lau, Anthony, K., Yuzhe, Zhang y Zhao, Jing. (2015) Caracterización y floculación con almidón de patata, mecanismo del biofloculante en aguas residuales. *National Library of medicine. Appl Microbiol Biotecnologia*. 2015 julio; 99 (14):5855-61.
- Guzmán, Condarco, Bianca. (2014). Extracción y modificación química de almidón de papa (*solanum tuberosum*) para su aplicación en la industria boliviana. Universidad Mayor de San Andrés Bolivia. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18112/M-268.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. @limentech ciencia y tecnología alimentaria, Volumen 13, No. 2: 123-135.



- Howe, Kerry.J., Hand, David. W., Crittenden, John. C., Trussell, Rhodes. R., Tchobanoglous, George. (2017). Principios del tratamiento del agua. Editorial, CENGAGE Learning. España.
- Mazille, Félicien., Spuhler, Dorothee. (2016). Coagulación-Floculación. Publicado en SSWM <http://www.sswm.info/>
- Másmela, Rozo. Anyela., Aguilar, Cristancho. Nathaly. (2017). Evaluación de almidón de manihot esculenta (yuca) y musa aab simmonds. (plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de occidente – PAO. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA Bogotá D.C., Colombia. Tesis de pregrado.
- Molano, Linares. J., Desider & Lannacone, José. (2018). Tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de solanum tuberosum L. ‘papa’ como alternativa al manejo convencional. Perú, Biotempo, 2018, 15(1), ene-jun: 83-112.
- Molano, Linares. J. (2011). Las semillas de Moringa Oleífera Lam. Como coagulante natural alternativa para la purificación de agua. Tesis de especialista, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2011.
- Ochoa, J. (2003). Obtención de floculantes no iónicos y aniónicos (densidad de carga 40%) por polimerización en micro emulsión inversa, influencia del sistema tensioactivo. Revista Iberoamericana de Polímeros. Vol 4: 1416.
- Paca, Telenchano, Flor. R. (2017). Evaluación de residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea. Escuela superior politécnica de



- Chimborazo. Facultad de ciencias Escuela de Ingeniería Química. Tesis de pre grado.
- Paca, Telenchano, Fanny. I. (2018). Obtención del polisacárido (almidón) de la cáscara de *Musa paradisiaca* L., como coagulante natural para el tratamiento del río monjas. Universidad Internacional SEK, Ecuador. Tesis de pregrado.
- Rivas, M. (2006). Caracterización fisicoquímica y molecular del almidón de plátano (*Musa Paradisiaca* L. var. Macho) modificado por métodos químicos”. Tesis. Instituto Politécnico Nacional., Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yautepec, Morelos, México.
- Yang, Te Chee., Yeong, Ta Wu., Ching, Joon, Juan segundo. (2014). Potencial del uso de almidón de arroz en coagulación-floculación en el tratamiento de aguas de proceso agroindustrial. Tratamiento, rendimiento y caracterización del floculante.
- Jian-Ping, Wang Segundo., Shi-Jie, Yuan., Yi, Wang, segundo., Han-Qing, Yu., Han-Qing, Yu. (2013). Síntesis, caracterización y aplicación de un floculante con alta floculación y propiedades de deshidratación.
- Shahzad y Zafar, Muhammad., Tausif., Muhammad, Shahzad y Zafar Muhammad., Tausif., Muhammad, Mohsin., Syed, Waqas. Ahmad., Muhammad, Zia-ul-Haq. (2015). El almidón de patata como coagulante para la eliminación de aguas residuales tinte de textiles. Springer International Publishing Suiza. Aire Agua y suelo (2015), 226: 244.
- Srinivasan, P. (1999). Aluminium in drinking water: An overview. *Water SA*, Vol.25 No. 1:47-56.
- Trejo, R., & Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, 25. Retrieved from.



- Ttito, Surco, Ruth, M. (2018). Evaluación de la eficacia del almidón de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones altoandinas. Universidad Peruana Unión Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Tesis de pre grado, Universidad Peruana Unión. Perú - Juliaca.
- Asociación Española del Aluminio. (2008). Aluminio y salud - Compuestos de aluminio en tratamiento de aguas. Documento 4. España, Madrid. www.asoc-aluminio.es
- CEPIS. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida (Tomo I). Lima, Perú. Edit. CEPIS.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC (2008). Aguas continentales, Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua. Madrid España. Informe CSIC 2008. Edición Cyan, Proyectos y Producciones Editoriales, S.A. <http://www.060.es>
- DS. N° 004-2017-MINAM. (2017). *Decreto Supremo* N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-ea-agua-establecen-disposiciones>
- Miranda, Zea. N. (2012). Tecnología de Aguas – Tratamiento y control de calidad. UNA-Puno, Perú. Edit. Centro papelerero del norte S.A. Trujillo.
- Norma Técnica Peruana (2007). Papa deshidratada Chuño. Indecopi, Perú, NTP, 011.400.
- Organización Mundial de la Salud, OMS. (2011). Guías para la calidad del agua potable. Tercera edición. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf



Water Quality Association -WQA. (2014). Aluminum Fact Sheet. [En línea] (Actualizado al año 2014).

http://www.wqa.org/Portals/0/Technical/Technical%20Fact%20Sheets/2014_Aluminum.pdf



ANEXOS.

**ANEXO A. INFORMES DE ENSAYO DE LA IMILLA NEGRA E IMILLA ROSADA
POR ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X.**

ANEXO A.1. harina de papa deshidratada. (harina de chuño) papa variedad imilla negra



**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PARA LA
DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS**

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Quantitative Analysis Results

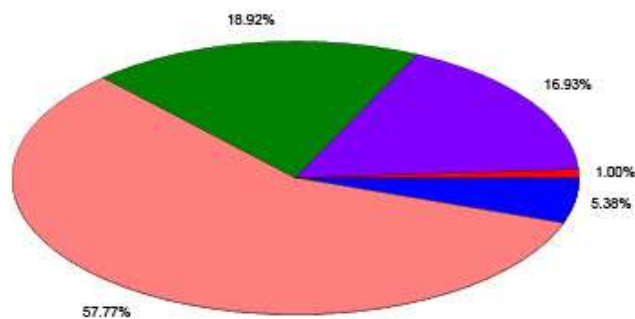
General information

Analysis date 2022/03/18
Sample name Muestra C (Harina de papa imilla rosada)
Requester name Zaida Lizeth Sucaticona Toque
Operator Administrator

Qualitative analysis results

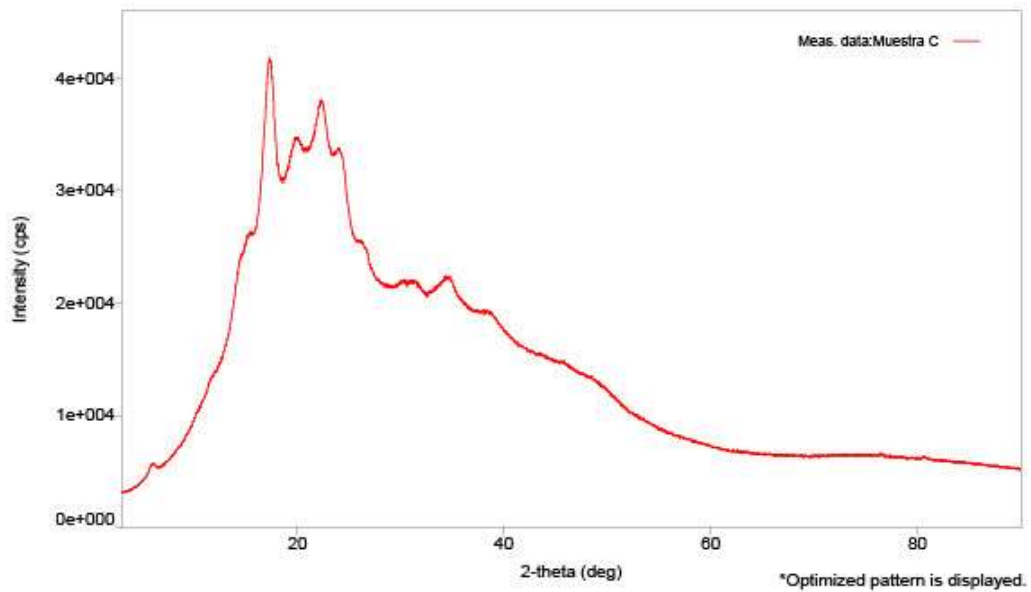
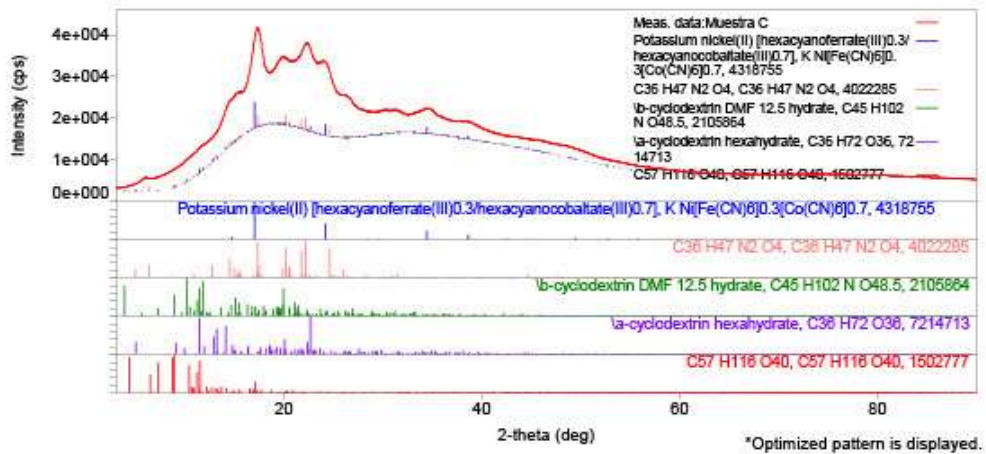
Phase name	DB card number	Content (%)
C36 H47 N2 O4	4022285	57.77
β -cyclodextrin DMF 12.5 hydrate	2105864	18.92
α -cyclodextrin hexahydrate	7214713	16.93
Potassium nickel(II) [hexacyanoferrate(III)0.3/ hexacyanocobaltate(III)0.7]	4318755	5.38
C57 H116 O40	1502777	1.00

Pie Graph



Potassiu...0.7] [hexacyanoferrate(III)0.3/ hexacyanocobaltate(III)0.7] (Blue)
C36 H47 N2 O4(%) (Pink)
 β -cyclo...drate(%) (Green)
 α -cyclo...drate(%) (Purple)
C57 H116 O40(%) (Red)

Diffractogram





ANEXO A.2. harina de papa deshidratada. (harina de chuño) papa variedad imilla rosada.



**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PARA LA
DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS**

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Quantitative Analysis Results

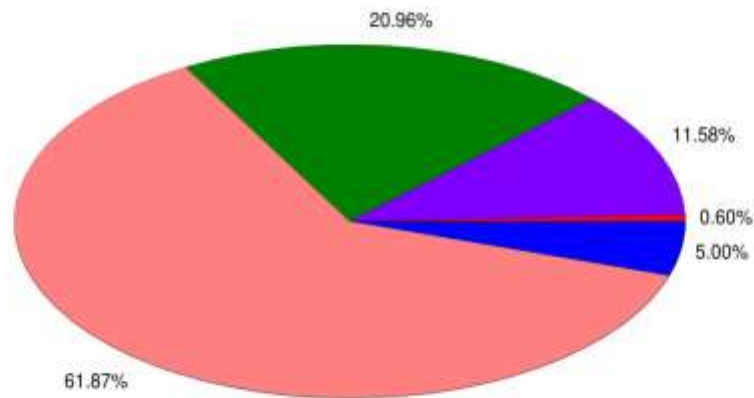
General Information

Analysis date 2022/03/11
Sample name Muestra D (Harina de papa imilla negra)
Requester name Zaida Lizeth Sucaticona Toque
Operator Administrator

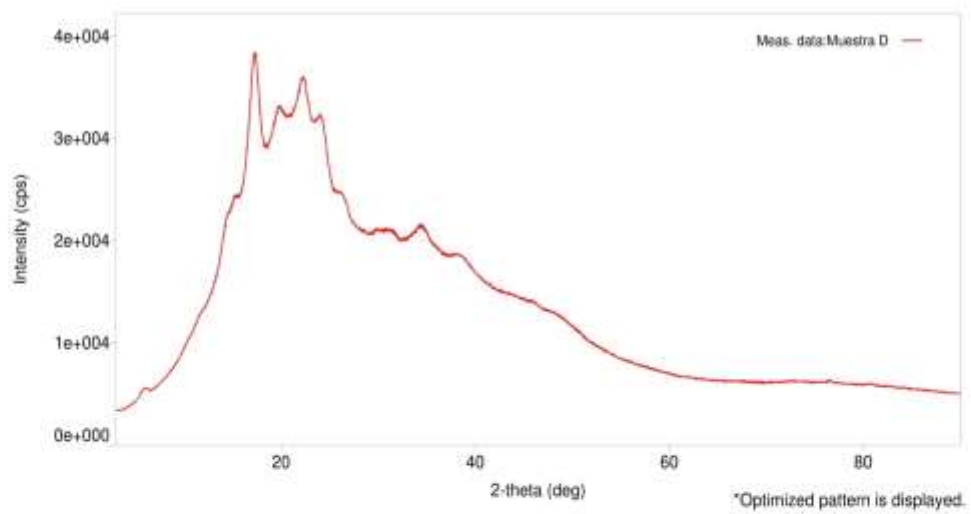
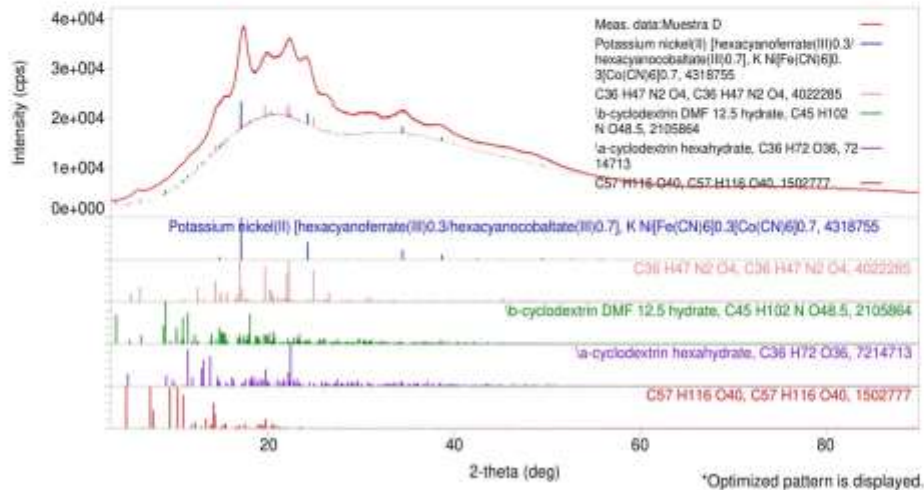
Qualitative analysis results

Phase name	DB card number	Content (%)
C36 H47 N2 O4	4022285	61.87
\b-cyclodextrin DMF 12.5 hydrate	2105864	20.96
\a-cyclodextrin hexahydrate	7214713	11.58
Potassium nickel(II) [hexacyanoferrate(III)0.3/ hexacyanocobaltate(III)0.7]	4318755	5.00
C57 H116 O40	1502777	0.6

Pie Graph



Diffractogram





ANEXO B. INFORMES DE ENSAYO DE ALUMINIO RESIDUAL DE LABORATORIOS ANALITICOS DEL SUR

ANEXO B.1. Análisis de aluminio residual del río Coata y con floculantes de policloruro de aluminio y sulfato de aluminio.



Laboratorios Analíticos del Sur
Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-21-00738

Fecha de emisión: 16/12/2021

Página 1 de 1
Clave generada : F7ACDE38

Señores: ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE
Dirección: JR. CESAR VALLEJO NRO.448 URB. COLONIA MOHEÑA JULIACA - PUNO
Atención: ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE
Recepción: 14/12/2021
Realización: 14/12/2021
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*4031 Método de ensayo para Aluminio por ICP -OES en soluciones

Código interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4031
				Al mg/L
SS21002821	AGUA NO TRATADA DE RIO Muestra 01	UNA - PUNO	Solución	0,47
SS21002822	AGUA TRATADA DE RIO COATA Muestra 02	UNA - PUNO	Solución	0,09
SS21002823	AGUA TRATADA DE RIO COATA Muestra 03	UNA - PUNO	Solución	≅0,08

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

*≅Valor numérico=Limite de detección del método, **Valor Numérico=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de conformidad de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Esta es estrictamente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Web: <http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582





ANEXO B.2. análisis de aluminio residual de agua tratada con floculantes de policloruro de aluminio y sulfato de aluminio, así mismo con los floculantes ayuda chuño de imilla negra y chuño de imilla rosada.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-21-00751

Fecha de emisión: 29/12/2021

Página 1 de 1

Clave generada : D82AC11A

Señores: ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE
Dirección: JR CESAR VALLEJO NRO. 448 URB. COLONIA MOHEÑA JULIACA - PUNO
Atención: ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE
Recepción: 23/12/2021
Realización: 23/12/2021
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*4031 Método de ensayo para Aluminio por ICP-OES en soluciones

Codigo Interno L.A.S	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4531
				Al mg/L
SS21002872	01 A	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,048
SS21002873	02 A	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002874	03 A	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,051
SS21002875	04 A	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,076
SS21002876	05 A	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002877	06 A	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,056
SS21002878	01 B	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,065
SS21002879	02 B	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,048
SS21002880	03 B	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002881	04 B	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002882	05 B	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,031
SS21002883	06 B	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002884	01 C	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,080
SS21002885	02 C	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,054
SS21002886	03 C	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,053
SS21002887	04 C	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002888	05 C	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002889	06 C	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002890	01 D	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,068
SS21002891	02 D	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,084
SS21002892	03 D	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,137
SS21002893	04 D	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029
SS21002894	05 D	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,082
SS21002895	06 D	No proporcionado por el cliente.	Solución	h<0,029

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ing. César Pulmiga CIP 11442F

*«Valor numérico»=Límite de detección del método. *«Valor Numérico»=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.





ANEXO B.3. análisis de aluminio residual del agua de rio Coata tratada con
floculantes comerciales y naturales variando el pH.



Laboratorios Analíticos del Sur
Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-22-00089

Fecha de emisión: 17/02/2022

Página 1 de 1
Clave generada : 57F83B7D

Señores: ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE
Dirección: JR CESAR VALLEJO NRO. 448 URB. COLONIA MOHEÑA JULIACA - PUNO
Atención: ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE
Recepción: 14/02/2022
Realización: 14/02/2022
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*4031 Método de ensayo para Aluminio por ICP-OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*4031
				Al mg/L
SS22000285	MUESTRA 01 A AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000286	MUESTRA 02 A AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000287	MUESTRA 03 A AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000288	MUESTRA 04 A AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000289	MUESTRA 01 B AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000270	MUESTRA 02 B AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000271	MUESTRA 03 B AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000272	MUESTRA 04 B AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000273	MUESTRA 01 C AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000274	MUESTRA 02 C AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000275	MUESTRA 03 C AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000276	MUESTRA 04 C AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000277	MUESTRA 01 D AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000278	MUESTRA 02 D AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	0,067
SS22000279	MUESTRA 03 D AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029
SS22000280	MUESTRA 04 D AGUA TRATADA DE RIO COATA	FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNA - PUNO	Solucion	≤0,029

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

*"Valor numérico"="Limite de detección del método, "≤"Valor Numérico"="Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



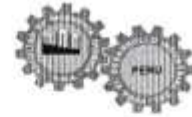
Validar el informe
vía web



ANEXO C. constancia de ejecución del proyecto en el laboratorio de Tecnología de Aguas, en la Facultad de Ingeniería Química.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CORREO ELECTRÓNICO: fiq@unap.edu.pe



CONSTANCIA

EL DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO.

HACE CONSTAR:

Que, la Srta. **ZAIDA LIZETH SUCATICONA TOQUE**, Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, ha realizado la ejecución de su proyecto de tesis titulada "TRATAMIENTO DE AGUAS NATURALES POR FLOCULACIÓN UTILIZANDO HARINA DE PAPA DESHIDRATADA COMO FLOCUANTE AYUDA PARA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD ALUMINIO RESIDUAL Y REDUCCIÓN DE FLOCULANTE", utilizando el equipo de Test jar, turbidímetro, agitador magnético y materiales de vidrio, entre otras, a partir del 25 de noviembre del 2021 hasta el 14 de enero del año 2022, en el Laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química UNA-PUNO.

Así consta en el Informe Nro. 002-2022, presentado por Dr. Norberto Sixto Miranda Zea, responsable del laboratorio de Tecnología de Aguas de la FIQ-UNA.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que estime por conveniente.

Puno C.U., 14 de julio del 2022.



WALTHER B. APARICIO ARAGÓN, Ph.D
DECANO DE LA FIQ
UNA-PUNO

C.c.
Archivo '22
ETP/rvs

ANEXO D. FICHAS TÉCNICAS.

ANEXO D.1. ficha técnica de sulfato de aluminio

FICHA TÉCNICA:

SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A

1.- DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El Sulfato de Aluminio Tipo A es una sal inorgánica, que contiene 14 moles de agua, es manufacturada a partir de una fuente de aluminio libre de hierro y ácido Sulfúrico.

2.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

NOMBRE COMERCIAL	SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO
TIPO A	
PESO MOLECULAR	594.14 g/mol
FORMULA QUÍMICA	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
APARIENCIA	CRISTALES DE COLOR BLANCO/SOLUBLE
EN AGUA	

3.- REQUERIMIENTOS

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	CONFORMIDAD
Aluminio, Al_2O_3 %	17.0 mín.	Cumple con las normas internacionales para productos químicos usados en el tratamiento del agua ANSI/AWWA B403-93 (Aluminum Sulphate-Líquido, Ground or lump.
Basicidad, Al_2O_3 %	0.60 máx.	
Hierro, Fe_2O_3 %	0.05 máx.	
Insolubles, %	0.20 máx.	
Malla 6, % Pasante	100 mín.	
Malla 10, % Pasante	60 Min.	

4.- APLICACIONES

Es ampliamente usada en el tratamiento de aguas como coagulante en la mayoría de los procesos hidrodinámicos de separación de sólidos, en especial de las partículas coloidales. Debido a ello cumple con las normas internacionales para productos químicos para el tratamiento del Agua ANSI/AWWA B403-93.

ANEXO D.2. ficha técnica del policloruro de aluminio



Industrial y Comercial Química Andina S.A.C.

Av. Los Castillos 311 Urb. Sta. Rosa Alta Vitarte Tall: 4365225 / 4365048

POLIFLOC

POLICLORURO DE ALUMINIO

HOJA DE ESPECIFICACIONES TECNICAS

1.- IDENTIFICACION:

Nombre Químico Genérico	:	Policloruro de Aluminio
Nombre Químico Específico	:	Polihidroxicluro sulfato de Aluminio
Nombre Comercial	:	POLIFLOC – Tipo PACSO 100 - AR
Fórmula Química Aproximada	:	$Al_n(OH)_m(SO_4)_p(Cl)_{3n-m-2p}$

2.- ESPECIFICACIONES TECNICAS.-(Características Químicas y Fisico-químicas)

Aluminio	como	Al	10.1 - 11.9	%
Aluminio	como	Al_2O_3	19.0 - 24.0	%
Cloruros	como	Cl^-	7.6 - 8.5	%
Sulfatos	como	SO_4^{*}	1.2 - 1.6	%
Basicidad	como	OH/Al	70.0 - 85.0	%
Relación Atómica		Al/ Cl^-	2.1:1 - 1.9:1	
Hierro	como	Fe	max. 0.05	%
Densidad		grs/ml.	1.34 - 1.36	
pH al 100%			2.30 - 2.80	
Turbiedad		NTU	max. 50	

Nota.- Las especificaciones Técnicas descritas para el producto cumplen las Normas Técnicas siguientes: Peruana NTP 311.333.1999, USA ANSI/AWWA B408 – 98 y European Standard DIN – EN 881:1997

3.- USOS Y APLICACIONES

- Coagulante primario y floculante en el tratamiento de aguas para consumo humano e Industrial.
- Floculante en el tratamiento de aguas residuales y servidas.
- Impermeabilizante de concreto y de superficies asfálticas de carreteras.

4.- PRESENTACIÓN

Cilindros plásticos de 270 Kg. Hoover de 1,250 Kg.

Producto fabricado por INDUSTRIAL Y COMERCIAL QUIMICA ANDINA S.A.C.
R.U.C. : 20100295691
Marca : POLIFLOC

ANEXO E. D.S. 004-2017-MINAM

El Peruano / Miércoles 7 de junio de 2017		NORMAS LEGALES		13
recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.		JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN Ministro de Agricultura y Riego		
DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA		ELSA GALARZA CONTRERAS Ministra del Ambiente		
Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua		GONZALO TAMAYO FLORES Ministro de Energía y Minas		
Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.		PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN Ministro de la Producción		
Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.		PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRÁ Ministra de Salud		
PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD Presidente de la República		EDMER TRUJILLO MORI Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento		

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

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	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antropogénico	Ausencia de material flotante de origen antropogénico	Ausencia de material flotante de origen antropogénico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

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
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Piomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₁₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (a)	(a)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracluro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,0003	0,0003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difeni Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0003	0,0003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos ($\text{NO}_2\text{-}$).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoforno, Cloroforno, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroforno}}}{E_{\text{CAcloroforno}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CADibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CABromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoforno}}}{E_{\text{CABromoforno}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoforno, cloroforno, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Acetes y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Borilo	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

ANEXO F. fotografías del desarrollo de las pruebas realizadas en el laboratorio.



FIGURA F.1. reactivos a utilizar en las pruebas realizadas



FIGURA F.2. Preparación de los reactivos a utilizar al 1%.



FIGURA F.3. Toma de muestra de agua del rio Coata.



FIGURA F.4. Coagulación y floculación en el equipo de test jar.



FIGURA F.5. sedimentación de las muestras.



FIGURA F.6. medición de turbiedad en las muestras.



FIGURA F.7. medición de pH en las muestras.



FIGURA F.8. muestras listas para enviar al laboratorio para análisis de aluminio residual.

ANEXO G. PUNTO DE MUESTREO.

