



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN

VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**ACCION COAGULANTE DE LA TUNA, TARA, MASHUA EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS DEL RIO ICHU HUANCVELICA 2020**

Línea de Investigación:

Polímeros naturales, sintéticos y funcionales

Tesis para optar el grado académico de:

Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible

Autor:

Charapaqui Ancasi, Juan

Asesora:

Tafur Anzualdo, Vicenta Irene

[ORCID 0000-0002-18888-7848](https://orcid.org/0000-0002-18888-7848)

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Zamora Talaverano, Noé Sabino

Sánchez Ortiz, Franklin Humberto

Lima - Perú

2023

Dedicatoria

A mis padres Pablo (+) y Dionisia por haberme dado la vida, valores y apoyo incondicional. A Alicia por su constante aliento a mis hijos Juan Eduardo y Mattias Pablo, por brindarme parte de su valioso tiempo; A mis hermanos Pablo, Lucha, Dora (+), Ibi, Urbano y Ángel, por haberme brindado su apoyo incondicional; ustedes, han sido un pilar fundamental en el logro de esta meta.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, por mostrarme el espíritu universitario y acogerme dentro de esta casa de estudios.

A los docentes de la Escuela Universitaria de Post Grado de medio ambiente y desarrollo sostenible de la Universidad Nacional Federico Villarreal; compartieron conocimientos y experiencias; con sus enseñanzas y sabios consejos guiaron mi formación.

A la Dra. Vicenta Irene Tafur Anzualdo, por su valioso apoyo incondicional en calidad de asesora de la presente tesis.

A los miembros de jurado Doctores: Zambrano Cabanillas, Abel Walter; Zamora Talaverano, Noé Sabino y Sánchez Ortiz, Franklin Humberto.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Agraria La Molina por brindarme las instalaciones y medios para llevar a cabo los análisis de calidad del agua.

A mi familia, por su amor, fe, esperanza, alegría, comprensión y aliento.

A las personas que crearon los documentos que me han servido de soporte para la realización del presente estudio de investigación.

INDICE

I. INTRODUCCION	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Formulación del problema	5
Problema General	5
Problemas Específicos	5
1.4. Antecedentes	5
1.5. Justificación de la investigación	10
1.6. Limitaciones de la investigación	12
1.7. Objetivos	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
1.8. Hipótesis	13
II. MARCO TEORICO	14
2.1. Marco conceptual	14
2.1.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	17
2.1.2. Marco Filosófico	41
2.1.3. Marco Legal	42
III. MÉTODO	45
3.1. Tipo de investigación	45

3.1.1. De acuerdo a la orientación	45
3.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación	45
3.2. Población y muestra	45
3.2.1. Localización del área de estudio	46
3.2.2. Ubicación Geográfica	46
3.2.3. Hidrografía	46
3.2.4. Fisiografía	48
3.2.5. Climatología	49
3.3. Operacionalización de variables	51
3.3.1. Definición de indicadores	52
3.4. Instrumentos	53
3.5. Procedimientos	54
3.5.1. Pruebas de jarras del proceso de coagulación-floculación	54
3.6. Análisis de datos	55
3.7. Consideraciones éticas	59
IV. RESULTADOS	60
4.1. Agua tipo: 160 UNT	60
4.1.1. Dosis, concentración y pH óptimo del sulfato de aluminio	60
4.1.2. Etapa de floculación	65
4.1.3. Etapa de decantación	69
4.2. Dosis óptima goma de tara – reducción sulfato de aluminio	72
4.2.1. Etapa de floculación con goma de tara	75

4.2.2. Etapa de decantación con goma de tara	79
4.2.3. Comparación de los resultados obtenidos con la goma de tara y los parámetros físicoquímicos del agua establecidos por las normas vigentes del Perú	82
4.3. Dosis óptima goma de tuna – reducción sulfato de aluminio	86
4.3.1. Etapa de floculación con goma de tuna	90
4.3.2. Etapa de decantación con goma de tuna	94
4.3.3. Comparación de los resultados obtenidos con la goma de tuna y los parámetros físicoquímicos del agua establecidos por las normas vigentes del Perú	96
4.4. Dosis óptima de almidón de mashua – reducción sulfato de aluminio	101
4.4.1. Etapa de floculación con almidón de mashua	104
4.4.2. Etapa de decantación con almidón de mashua	108
4.4.3. Comparación de los resultados obtenidos con el almidón de mashua y los parámetros físicoquímicos del agua establecidos por las normas vigentes del Perú	110
V. DISCUSION DE RESULTADOS	116
VI. CONCLUSIONES	120
VII. RECOMENDACIONES	122
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	123
IX. ANEXO	131
9.1. Matriz de consistencia	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipo clásico para la realización de la prueba de jarras	28
Figura 2. Procesos de la Prueba de Jarras	29
Figura 3. Planta de la tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)	33
Figura 4. La flor de la mashua	35
Figura 5. La mashua	36
Figura 6. Goma y semilla de tara	37
Figura 7. Ubicación y localización de la subcuenca del río Ichu	47
Figura 8. Río Ichu	49
Figura 9. Dosis óptima de sulfato de aluminio	61
Figura 10. Concentración óptima de sulfato de aluminio	63
Figura 11. pH óptimo sulfato de aluminio	64
Figura 12. Turbiedad residual Vs tiempo de retención	66
Figura 13. Turbiedad residual Vs gradiente de velocidad	67
Figura 14. Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención	68
Figura 15. Curva de sedimentación	71
Figura 16. Dosis óptima de goma de tara	73
Figura 17. Reducción de sulfato de aluminio	75
Figura 18. Turbiedad residual Vs tiempo de retención	77
Figura 19. Turbiedad residual Vs gradiente de velocidad	77
Figura 20. Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención	78
Figura 21. Curva de sedimentación	81
Figura 22. Gráfico de color aparente del agua	83
Figura 23. Gráfico de partículas no sedimentables en el agua	83
Figura 24. Gráfico de la turbidez del agua	84

Figura 25. Potencial de hidrogeno del agua	85
Figura 26. Gráfico de volumen de lodos en el agua	85
Figura 27. Gráfico de la conductividad eléctrica del agua	86
Figura 28. Dosis óptima de goma de tuna	88
Figura 29. Reducción de sulfato de aluminio	89
Figura 30. Turbiedad residual Vs tiempo de retención	91
Figura 31. Turbiedad residual Vs gradiente de velocidad	92
Figura 32. Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención	93
Figura 33. Curva de sedimentación	95
Figura 34. Gráfico de color aparente en el agua	97
Figura 35. Gráfico de partículas no sedimentables en el agua	98
Figura 36. Potencial de hidrogeno en la muestra de agua	98
Figura 37. Gráfico de la turbidez del agua	99
Figura 38. Gráfico de volumen de lodos en el agua	100
Figura 39. Gráfico de la conductividad eléctrica del agua	100
Figura 40. Dosis óptima de almidón de mashua	102
Figura 41. Reducción de sulfato de aluminio	104
Figura 42. Turbiedad residual Vs tiempo de retención	105
Figura 43. Turbiedad residual Vs gradiente de velocidad	106
Figura 44. Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención	107
Figura 45. Curva de sedimentación	109
Figura 46. Gráfico de color aparente en el agua	111
Figura 47. Gráfico de partículas no sedimentables en el agua	112
Figura 48. Gráfico de la turbidez del agua	113
Figura 49. Potencial de hidrogeno del agua	113

Figura 50. Gráfico de volumen de lodos en el agua	114
Figura 51. Gráfico de la conductividad eléctrica del agua	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de procesos para la remoción de materia orgánica natural	30
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la tuna	33
Tabla 3. Clasificación taxonómica de la mashua	35
Tabla 4. Declaración de Dublín, principios rectores para atender la relación agua y desarrollo sostenible	38
Tabla 5. Resumen de los principales hitos de la gestión ambiental nacional	40
Tabla 6. Características climáticas de la sub cuenca Ichu	50
Tabla 7. Operacionalización de las variables	51
Tabla 8. Técnicas a utilizar para la determinación de los parámetros fisicoquímicos	54
Tabla 9. Datos para calcular la dosis óptima de sulfato de aluminio	60
Tabla 10. Dosis óptima de sulfato de aluminio	61
Tabla 11. Datos para calcular la concentración de sulfato de aluminio	62
Tabla 12. Concentración óptima de sulfato de aluminio	62
Tabla 13. Datos para calcular el pH óptimo	63
Tabla 14. pH óptimo de sulfato de aluminio	64
Tabla 15. Datos para el ensayo de floculación	65
Tabla 16. Resultados del ensayo de floculación	66
Tabla 17. Gradientes de velocidad optima de floculación	68
Tabla 18. Gradientes de decantación	69
Tabla 19. Datos para el ensayo de decantación	70
Tabla 20. Resultados de ensayo de decantación	70
Tabla 21. Selección de la tasa de decantación	71
Tabla 22. Datos para el cálculo de dosis óptima de goma de tara	72
Tabla 23. Dosis óptima de goma de tara	73

Tabla 24. Datos para el cálculo de dosis óptima de sulfato de aluminio con goma de tara	74
Tabla 25. Reducción de sulfato de aluminio con goma de tara	74
Tabla 26. Datos para el cálculo de ensayo de floculación con goma de tara	75
Tabla 27. Resultados de ensayo de floculación con goma de tara	75
Tabla 28. Gradientes de velocidad optima de floculación con goma de tara	78
Tabla 29. Gradientes de decantación con goma de tara	79
Tabla 30. Datos para el cálculo de ensayo de decantación con goma de tara	79
Tabla 31. Resultados de ensayo de decantación con goma de tara	80
Tabla 32. Selección de la tasa de decantación con goma de tara	81
Tabla 33. Parámetros físicos del agua al final con goma de tara	82
Tabla 34. Datos para el cálculo de dosis óptima de goma de tuna	87
Tabla 35. Dosis óptima de goma de tuna	87
Tabla 36. Datos para el cálculo de dosis óptima de sulfato de aluminio con goma de tuna	88
Tabla 37. Reducción de sulfato de aluminio con goma de tuna	89
Tabla 38. Datos para el cálculo de ensayo de floculación con goma de tuna	90
Tabla 39. Resultados de ensayo de floculación con goma de tuna	91
Tabla 40. Gradientes de velocidad optima de floculación	92
Tabla 41. Gradientes de decantación	93
Tabla 42. Datos para el cálculo de ensayo de decantación con goma de tuna	94
Tabla 43. Resultados de ensayo de decantación con goma de tuna	95
Tabla 44. Selección de la tasa de decantación con goma de tuna	96
Tabla 45. Parámetros físicos químicos del agua con goma de tuna	96
Tabla 46. Datos para el cálculo de dosis óptima de almidón de mashua	101
Tabla 47. Dosis óptima de almidón de mashua	101
Tabla 48. Datos para la dosis óptima de sulfato de aluminio con almidón de mashua	103

Tabla 49. Reducción de sulfato de aluminio con almidón de mashua	103
Tabla 50. Datos para el cálculo de ensayo de floculación con almidón de mashua	104
Tabla 51. Resultados de ensayo de floculación con almidón de mashua	105
Tabla 52. Gradientes de velocidad optima de floculación con almidón de mashua	107
Tabla 53. Gradientes de decantación	108
Tabla 54. Datos para el cálculo de ensayo de decantación con almidón de mashua	108
Tabla 55. Resultados de ensayo de decantación con almidón de mashua	109
Tabla 56. Selección de la tasa de decantación con almidón de mashua	110
Tabla 57. Parámetros físicos químicos del agua obtenida con almidón de mashua	110

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar la incidencia de la acción coagulante de la tuna, tara y mashua en el tratamiento de aguas del Río Ichu en Huancavelica 2021, el tipo de investigación es aplicada, del nivel descriptivo y correlacional y de diseño experimental. Se realizó el monitoreo de calidad de agua, en los laboratorios de UNALM. Los parámetros medidos fueron, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, pH, color, turbidez y volumen de lodos. Los resultados indican que todos los parámetros estudiados no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad, con excepción en el volumen de lodos, y en la goma de tara que se obtuvo un color de 25 (U Pt-Co). También se realizó las pruebas de jarras con agua sintética de turbiedad de 160 UNT, preparada en laboratorio; se realizaron pruebas utilizando el sulfato de aluminio como coagulante primario y en una segunda fase usando el sulfato de aluminio como coagulante primario y agregando la goma de tara, tuna y mashua como polímeros naturales para mejorar su rendimiento. Se hizo un análisis de sus eficiencias, la tasa de decantación con el coagulante sulfato de aluminio fue $29 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y la velocidad de sedimentación 0.034 cm/s ; agregando al agua el ayudante de coagulante goma de tara resultó $34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y 0.039 cm/s , adicionando a la muestra de agua la goma de tuna resultó $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y 0.035 cm/s , finalmente agregando el almidón de mashua resultó $68 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y 0.079 cm/s , respectivamente. En conclusión, la utilización de polímeros naturales: la tuna, tara y mashua; es una interesante alternativa en tratamiento de agua superficial para agua potable, en comparación con los polímeros sintéticos.

Palabra clave: polímeros naturales, ayudante de coagulación, sulfato de aluminio, ensayode jarras, floculación.

ABSTRACT

The present investigation had as general objective the determination of the incidence of the coagulating action of the prickly pear, tara and mashua in the treatment of waters of the Ichu River in Huancavelica 2021, the type of investigation is applied, of the descriptive and correlational level and of design. experimental. Water quality monitoring was carried out in the UNALM laboratories. The parameters measured were electrical conductivity, total dissolved solids, pH, color, turbidity and sludge volume. The results indicate that all the parameters studied do not exceed the maximum permissible limits established in the regulations, with the exception of the volume of sludge, and in the tara gum, which obtained a color of 25 (U Pt-Co). Pitcher tests were also carried out with synthetic water with a turbidity of 160 UNT, prepared in the laboratory; Tests were carried out using aluminum sulfate as the primary coagulant and in a second phase using aluminum sulfate as the primary coagulant and adding tara, prickly pear and mashua gum as natural polymers to improve their performance. An analysis of their efficiencies was made, the settling rate with the aluminum sulfate coagulant was $29 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ and the sedimentation rate 0.034 cm/s ; adding the tara gum coagulant aid to the water resulted in $34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ and 0.039 cm/s , adding prickly pear gum to the water sample resulted in $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ and 0.035 cm/s , finally adding mashua starch resulted in $68 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ and 0.079 cm/s , respectively. In conclusion, the use of natural polymers: prickly pear, tara and mashua; is an interesting alternative in surface water treatment for drinking water, compared to synthetic polymers.

Keywords: natural polymers, coagulation aid, aluminum sulfate, jar test, flocculation.

I. INTRODUCCION

Los recursos hídricos desempeñan un papel vital en diversos sectores de la economía, como la ganadería, la agricultura, la minería, actividades industriales, recreación entre otras. La disponibilidad de calidad del agua, ya sea superficial o subterránea, se ha deteriorado debido a factores como el aumento de la población, la industrialización, la urbanización (Tyagi et al., 2013). La calidad y cantidad del agua son temas importantes en la gestión de los recursos hídricos (Sutadian et al., 2016); su clasificación basada en el grado de pureza y contaminación data de 1848 (Medeiros et al., 2017) y se evalúa desde las características físicas, químicas y microbiológicas (Rangeti et al., 2015). La gran variedad de factores y parámetros que afectan la calidad del agua hace que su evaluación sea una tarea compleja (Sutadian et al., 2016).

La conservación y protección de las áreas ribereñas es una de las principales prioridades para la mayoría de las regiones del mundo debido a los muchos servicios ecosistémicos presentes (Zaimes y Iakovoglou, 2021). Además, las zonas ribereñas están siendo muy utilizadas y son considerados como algunos de los ecosistemas más degradados. El cambio climático está agravando aún más las presiones sobre las áreas ribereñas (Zaimes, 2020). Las actividades antropogénicas que impactan negativamente las zonas ribereñas incluyen el transporte fluvial, generación de energía, urbanización y agricultura que alteran la morfología y el régimen hidrológico del río y / o eliminan, encogen, degradan o reducen la diversidad de la vegetación (Balzan et al., 2020).

La disponibilidad de agua dulce está amenazada por múltiples factores que incluyen la contaminación y el cambio climático. Por lo tanto, Es importante invertir en investigación, e innovación para la disponibilidad de agua dulce. Los hallazgos de la literatura han revelado que los contaminantes de origen natural, con condición impredecible, y de fuentes de erosión a lo largo de los lechos de ríos (Pu, 2019) pueden amenazar las fuentes de agua dulce.

El agua que es consumida por el ser humano, debe cumplir con parámetros de calidad, inocuidad y con expectativas en cuanto al sabor y olor (Rahman, 2017). Los consumidores son muy sensibles respecto al agua para beber, por eso los proveedores deben mantener su calidad en los niveles fijados en las normas pertinentes. Las pruebas, diseños y análisis deben abordarse de manera que permitan optimizar la sensibilidad, validez y confiabilidad (Burlingame, 2017).

Para llevar a cabo la evaluación de calidad del agua de un cuerpo hídrico es necesario monitorear sus características físicas, químicas y microbiológicas (Sierra, 2011). La Ley General del Ambiente establecida por el Ministerio del Ambiente (MINAM) define Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como “la medida que establece el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”. En el país, los ECAs para aguas están aprobados en el Decreto Supremo N ° 002-2008-MINAM.

El río Ichu, ubicado en la provincia y en la región de Huancavelica, es el recurso hídrico que abastece a los distritos del mismo nombre y otros. Su principal actividad económica es la agricultura y ganadería, las aguas de este río deben cumplir los parámetros para la Categoría III aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N ° 29338, según la Resolución Jefatural N ° 202-2010-ANA. Debido a la poca información no se sabe si el río Ichu tiene algún tipo de contaminación, ya sea por exceso de fertilizantes, por actividad minera cercana a la zona de estudio o por actividades de la misma población.

Los temas tratados fueron en el capítulo I. Introducción: planteamiento, descripción y formulación del problema, antecedentes, justificación, limitación, y objetivos de la investigación; capítulo II. Marco teórico: bases teóricas, el agua, procesos de coagulación y floculación, sedimentación, el cactus (*Opuntia ficus-indica*), tubérculo (*Tropaeolum*

tuberosum), la tara (*Caesalpinia Spinoza*), marco legal, marco conceptual; capítulo III. Metodología. Tipo de investigación, población y muestra, operacionalización de variables, localización del área de estudio, instrumentos, procedimientos, análisis de datos; capítulo IV. Resultados. Agua tipo: 160 UNT (unidades nefelométricas), dosis óptima goma de tara – reducción sulfato de aluminio, dosis óptima goma de tuna – reducción sulfato de aluminio, dosis óptima de almidón de mashua – reducción sulfato de aluminio; capítulo V. Discusión de resultados y capítulo VI. Conclusiones.

1.1. Planteamiento del problema

Según la Organización de Naciones Unidas, en la actualidad el problema principal es la alteración de la calidad de agua, que depende tanto de factores naturales como de la acción del ser humano (ONU, 2014), cuya alteración ocasiona la contaminación del agua, que sigue creciendo a nivel mundial por las actividades productoras, las cuales en su mayoría provienen de fuentes difusas (no localizadas). Generalmente, los contaminantes son la causa más importante de la pérdida de calidad del agua en todo el mundo (UNESCO, 2015).

El agua es un recurso vital para los seres vivos, de su potabilización depende la vida y la salud de las personas, por ello se le debe someter al proceso de tratamiento que se basan en procesos unitarios físicos-químicos que utilizan coagulantes y floculantes sintéticos y/o naturales.

Para el consumo de agua potable para la ciudad de Huancavelica, cuyo principal recurso es el agua proveniente del río Ichu, es de gran importancia evaluar el sistema de tratamiento de agua potable con el fin de establecer la calidad de agua consumida. Las poblaciones beneficiadas serán las establecidas en las jurisdicciones de Yananaco, San Cristóbal, Santa Ana, San Antonio y el distrito de Ascensión respectivamente. También, los miembros de las Instituciones Tecnológicas, Pedagógicas y la Universidad Nacional de Huancavelica conocerán

el grado de contaminación del río Ichu y el proceso de potabilización de las mismas que permitirán estar dentro de los Estándares de Calidad Ambiental.

Los Gobiernos Locales a través de las empresas prestadoras de servicios de agua potable de la región de Huancavelica enfrentan hoy al reto de mejorar sus sistemas de potabilización de agua acorde con el creciente interés por el tema ambiental y de salud pública, los estándares internacionales de calidad y medio ambiente y el surgimiento de nuevas normas que implican una evaluación de los procesos existentes de potabilización y una mayor exigencia ambiental a los nuevos proyectos.

1.2. Descripción del problema

Sánchez (2020) sobre la calidad de las aguas del río Ichu concluye que superan algunos parámetros los ECAs para agua en la categoría 1; poblacional y recreacional (A1), estas aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, asimismo el ICA-NSF de los puntos de muestreados se encuentra en el rango calidad de agua, con una clasificación de agua de mala calidad.

La remoción de materia orgánica natural (MON) es de mucha importancia en la potabilización de agua, no sólo por razones estéticas y su asociación con problemas de olor y sabor, sino también por la consecuente formación de subproductos de la desinfección (SPD) generados por la reacción de la MON con agentes desinfectantes. Los SPD pueden ocasionar problemas a la salud humana, dado que son compuestos tóxicos y carcinogénicos. Una manera adecuada para controlar y minimizar la formación de éstos, es remover la MON antes de que reaccione con los agentes desinfectantes.

Debido que el agua es una necesidad básica del hombre, es importante conocer e investigar los insumos químicos, que permitan su potabilización y reduzcan los impactos en el

ambiente. El proceso de potabilizar agua “cruda” puede verse como una serie de subprocesos acoplados entre sí. Una posible agrupación y algunos de los principales campos actuales de investigación son: captación de agua cruda, coagulación - floculación, adsorción, sedimentación, filtración y desinfección.

Para el consumo de agua potable para la ciudad de Huancavelica, cuyo principal recurso es el agua proveniente del río Ichu, es de gran importancia evaluar el sistema de tratamiento de agua potable con el fin de establecer la calidad de agua consumida.

1.3. Formulación del problema

- Problema General

¿En qué medida la acción coagulante de la tuna, tara y mashua inciden en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021?

- Problemas Específicos

¿En qué medida la acción coagulante de la tuna incide en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021?

¿En qué medida la acción coagulante de la tara incide en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021?

¿En qué medida la acción coagulante de la mashua incide en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021?

1.4. Antecedentes

El proceso de coagulación-floculación consiste en que las partículas coloidales presentes en el agua se aglomeren formando pequeños gránulos con un peso específico superior al del agua llamados flóculos. La carga eléctrica de la superficie de las partículas coloidales es

el factor que contribuye, en mayor medida, a su estabilidad a largo plazo, ya que las partículas que tendrán tendencia a formar aglomerados son repelidas mutuamente por sus cargas eléctricas (Steel et al., 1991); en la coagulación ocurre la desestabilización de estas partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas, mientras que en el proceso de floculación ocurre el transporte de ellas dentro del líquido para que las partículas ya desestabilizadas choquen unas con otras para formar coágulos mayores; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance la características físicas y organolépticas idóneas para ser llamada potable (Valencia, 2000).

El principal objetivo de la potabilización del agua, es la protección de la salud pública, eliminando o reduciendo a una concentración mínima los componentes peligrosos. Las plantas potabilizadoras de agua deben garantizar su calidad para que ésta pueda ser consumida por la población humana, sin producir efectos adversos a su salud. A continuación, se presentan antecedentes Internacionales y nacionales:

- Antecedentes Internacionales

A nivel regional, en la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia), se desarrolló un trabajo que consistió en hallar la dosis más efectiva de la mezcla de carbón activado en polvo con sulfato de aluminio líquido para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de aguas de Pereira. Los resultados obtenidos permitieron utilizar menores dosis de coagulante sulfato de aluminio líquido, lo que generó menos lodos en los tanques y mejora en el impacto ambiental, también se logró la disminución de la dosis de carbón activado en polvo que normalmente se utilizaba (Granados, 2007).

Moscozo (2015), en el trabajo de investigación titulado: “El uso de polímeros como ayudantes de coagulación y floculación” menciona que está bastante extendido y es práctica

corriente en muchas plantas de tratamiento de agua. Desde el punto de vista ambiental, hay reportes que en el análisis realizado a muestras de aguas potabilizadoras se han encontrado trazas de sulfato de aluminio, esta investigación está orientada a encontrar qué porcentaje del sulfato de aluminio puede ser sustituido por almidón de yuca, en el proceso de coagulación-floculación para la potabilización de agua; utiliza yuca, común para el consumo humano; donde en una serie de pasos se logra aislar el almidón de yuca. Los diferentes niveles de turbiedad se lograron empleando arcilla llamada caolín, para establecer turbiedades que van de 0 a 1000 UNT. Luego de determinar la dosis óptima de 70 miligramos por litro de sulfato de aluminio a través de la prueba de jarras su fue sustituyendo el sulfato de aluminio por almidón de yuca en proporciones del 20 %. De esto, y luego de realizar 60 pruebas para determinar si es posible sustituir el sulfato de aluminio hasta un 40 % por almidón de yuca para lograr valores inferiores a 5 UNT, se determinó que sí es posible para ciertos valores de turbiedad iniciales.

Taiwo *et al.*, (2020) Investigaron las actividades de coagulación de una proteína purificada de semillas de Moringa Oleifera en el tratamiento de agua turbia sintética, mediante el uso de las pruebas de jarras, obteniendo como resultado una reducción de la turbidez de 42.9%, con una dosis optima del 60mg/l, recomendaron realizar investigaciones para comprender los mecanismos de acción de las proteínas de este biocoagulante.

Asharuddin (2019) examino el efecto sinérgico del almidón de la cáscara de yuca junto con el sulfato de aluminio, en la eliminación del total de sólidos en suspensión y Escherichia Coli en agua de represa, se logró una eliminación de total de sólidos en suspensión y Escherichia Coli de 92.75% y 100% respectivamente con una dosis recomendada de 7.5 mg/l para el almidón de yuca y 50mg/l para el alumbre, debido a su doble funcionalidad se espera reducir ladosis de coagulantes y desinfectantes en el tratamiento de agua.

Choque (2020) En su investigación, tuvo por objetivo optimizar la capacidad floculante

de tres variedades de cactus, en el tratamiento de agua residual artificial, se aplicó una dosis de coagulante al 1%, 2% y 3% de *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipenses* y *Opuntia ficus* respectivamente, se reportaron valores de remoción de turbiedad de 99.09%, 92.42% y 98.98% para *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipenses* y *Opuntia ficus* respectivamente.

- Antecedentes nacionales

En el Perú las plantas de potabilización de agua por Ley de Recursos Hídricos tienen concesiones específicas para tomar parte del caudal de las cuencas y de acuerdo a las características del agua al entrar a la planta, se realizan las dosificaciones y se plantean los tratamientos más adecuados. La medición de características como turbiedad, color y alcalinidad son fundamentales para conocer el grado de calidad y la exigencia en los tratamientos de agua potable. Se conocen muchos tipos de coagulantes, pero el sulfato de aluminio (alumbre) es el coagulante estándar empleado en tratamientos de agua.

En la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), se desarrolló un trabajo de tesis “Utilización de las semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas” (Aguilar, 2010). Para demostrar el posible uso de la goma de tara como polímero natural aplicado al tratamiento del agua potable y determinar la eficiencia de la goma de tara como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua.

Vásquez (2015), en su estudio “Evaluación de la calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y algunos parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca, Pampas, Pallasca. Ancash. Perú 2014”, en la que analizó algunos parámetros físico-químicos tales como: pH, nitritos (mg/l), nitratos (mg/l), fosfatos (mg/l), cromo ($\mu\text{g/l}$) y aluminio (mg/l), estableciendo 8 puntos de muestreo. Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos cumplen con lo establecido en el DS 002-2008-MINAM; a

excepción de los fosfatos cuyas concentraciones sobrepasan los límites permisibles para el agua destinada a riego de vegetales y bebida para animales; estos compuestos evidencian contaminación inorgánica, por descargas de aguas con residuos de detergentes y abonos orgánicos.

Chuquimbalqui (2017), en su tesis “Determinación de parámetros físico-químicos y biológicos del agua del río Tío Yacu, para uso recreacional y riego de vegetales, del distrito de Elías Soplín Vargas – Rioja” realizado por la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua del río Tío Yacu en los usos, recreacional y riego de vegetales, mediante la determinación de los parámetros de temperatura, pH, turbiedad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, DBO₅ y coliformes fecales. Y comparar los resultados de los análisis físico-químicos y biológicos obtenidos, con los parámetros establecidos en los estándares de calidad ambiental. Dando como resultados de las muestras (M1, M2, M3) en promedio de: oxígeno disuelto (8.94 mg/l), pH (7.39 pH), demanda bioquímica de oxígeno (0.59 mg/l), nitratos (0.76 mg/l), fosfatos (0.28 mg/l), temperatura (18°C), turbiedad (4.32 UNT) y sólidos totales disueltos (204.24 ppm) y coliformes fecales (44.56NMP/100ml). El cual concluye que el agua del río Tío Yacu, según el índice de calidad de agua es 82.69, la cual es catalogada como agua de buena calidad y los parámetros analizados cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua.

Además, de turbiedad y color, un crecimiento de la población de algas en aguas superficiales puede provocar problemas técnicos en las instalaciones de las plantas potabilizadoras, también problemas de tipo sanitario, que afectan la salud de los seres humanos. Entre los problemas técnicos se encuentran: obstrucción de rejillas, incremento en la demanda de coagulante, problemas de filtración. Por otra parte, los problemas sanitarios son: precursores de subproductos tóxicos de desinfección, liberación de olores y sabores indeseables en el agua, crecimiento microbiano en sistemas de distribución.

En el proceso de clarificación tradicional, el sulfato de aluminio ha sido el agente químico que se utiliza comúnmente en la etapa de coagulación de agua. Sin embargo, este coagulante funciona adecuadamente sólo en un intervalo de pH, además de que disminuye significativamente el valor de este parámetro en el agua tratada, pudiendo resultar en que ésta sea corrosiva.

Se han realizado estudios para evaluar la efectividad de las sales de aluminio, polímeros inorgánicos y polímeros orgánicos para la coagulación de algas. El sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio (PACl) son los coagulantes comerciales que se utilizan más comúnmente en el tratamiento del agua.

1.5. Justificación de la investigación

Justificación. Los Gobiernos Locales a través de las empresas prestadoras de servicios de agua potable de la región de Huancavelica enfrentan hoy al reto de mejorar sus sistemas de potabilización de agua acorde con el creciente interés por el tema ambiental y de salud pública, los estándares internacionales de calidad y medio ambiente y el surgimiento de nuevas normas que implican una evaluación de los procesos existentes de potabilización y una mayor exigencia ambiental a los nuevos proyectos.

Fano (2021) cita a Fox (2003), describe que “El agua es el gran tema del siglo XXI, es nuestro futuro común. Juntos, sociedades y gobiernos del mundo debemos impulsar acciones decididas que nos permita preservar y garantizar este capital natural. El agua es un tema de seguridad y de sobrevivencia para todas las naciones y solamente podrá ser abordado y resuelto en una lógica global. Trabajemos en incrementar el patrimonio de las próximas generaciones. Nunca es demasiado tarde, podemos sembrar hoy para cosechar grandes frutos el día de mañana”.

El continuo desarrollo tecnológico e investigativo nos obliga a evolucionar los procesos

de tratamientos de aguas. Es importante evaluar nuevos productos que han sido desarrollados con el fin de mejorar el proceso de potabilizar agua “cruda”, como también dar a conocer importantes desarrollos tecnológicos en cuanto a nuevos equipos y diferentes alternativas para el tratamiento del agua cruda.

El agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible); además, la mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud; por lo tanto, debe garantizarse que el agua sea lo más libre de contaminantes posible.

El agua puede contener una variedad de impurezas solubles e insolubles; entre estas últimas se destacan las partículas coloidales, las sustancias lumínicas y los microorganismos en general; estas partículas son las encargadas de formar la turbiedad y el color. Para que estas sustancias puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación-floculación.

Los resultados de esta investigación servirán para generar reflexión y aplicar el desarrollo de alternativas más económicas para el tratamiento de dicho recurso con el propósito de mejorar significativamente la calidad del agua del Río Ichu - Huancavelica.

Importancia. Debido que el agua es una necesidad básica del hombre, es importante investigar alternativas para insumos químicos, que permitan su potabilización y reduzcan los impactos en el ambiente. El proceso de potabilizar agua “cruda” puede verse como una serie de subprocesos acoplados entre sí. Una posible agrupación y algunos de los principales campos actuales de investigación son:

Captación de agua cruda, coagulación – floculación, adsorción, sedimentación, filtración y desinfección.

Para el consumo de agua potable para la ciudad de Huancavelica, cuyo principal recurso es el agua proveniente del río Ichu, es de gran importancia evaluar el sistema de tratamiento de agua potable con el fin de establecer la calidad de agua consumida. Esta investigación se centrará en el subproceso de coagulación, evaluando el siguiente aspecto:

Coagulantes convencionales (sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico), floculantes naturales (goma de tuna y tara) complementario, caracterizar la acción coagulante de las mismas en el tratamiento de aguas superficiales es una interesante alternativa porque es un producto natural e inocuo para las personas.

1.6. Limitaciones de la investigación

Uno de los inconvenientes que genera al realizar los experimentos en laboratorios de análisis físico químico del agua, es la carencia de laboratorios con certificación en la zona de influencia del proyecto de investigación; pues la metodología experimental para el proceso de prueba de jarras requiere mucho cuidado y que tengan las mejores condiciones para obtener resultados precisos y confiables. También la presencia de la COVID-19 dificultó interactuar oportuna y directamente con entidades de interés.

1.7. Objetivos

- Objetivo general

Determinar la acción coagulante de la tuna, tara y mashua en el tratamiento de aguas del río Ichu Huancavelica 2021.

- Objetivos específicos

- a) Determinar la incidencia de la acción coagulante de la tara en el tratamiento de aguas del Río Ichu en Huancavelica 2021.
- b) Determinar la incidencia de la acción coagulante de la tuna en el tratamiento de aguas del Río Ichu en Huancavelica 2021.

c) Determinar la incidencia de la acción coagulante de mashua en el tratamiento de aguas del Río Ichu en Huancavelica 2021.

1.8. Hipótesis

- Hipótesis general

La acción coagulante de la tuna, tara y mashua inciden significativamente en el tratamiento del agua del Río Ichu Huancavelica 2021.

- Hipótesis específica

a) La acción coagulante de la tara incide significativamente en el tratamiento del agua del Río Ichu Huancavelica 2021.

b) La acción coagulante de la tuna incide significativamente en el tratamiento del agua del Río Ichu Huancavelica 2021.

c) La acción coagulante de la mashua incide significativamente en el tratamiento del agua del Río Ichu Huancavelica 2021.

II. MARCO TEORICO

A continuación, se describe el marco conceptual que sirve de referencia a la presente investigación, para determinar la acción coagulante de la tuna, tara y mashua en el tratamiento de aguas del río Ichu Huancavelica 2021.

2.1. Marco conceptual

Es la elaboración conceptual del problema. En él aparecen las definiciones de las variables contempladas en el problema y en los objetivos de investigación, y de los términos claves que se usaron con mayor frecuencia.

a) Prueba de jarras. A pesar de que cada vez se conoce aún más de la teoría y las reacciones químicas que ocurren en la coagulación y la floculación, siempre es necesario emplear una prueba práctica para la selección final de las condiciones del proceso. Principalmente se pueden dividir en dos tipos de pruebas prácticas: la prueba de jarras y la prueba en planta piloto. La prueba de jarras es útil cuando se requiere evaluar un gran número de condiciones y variables a pequeña escala y sin emplear altas cantidades de reactivos (Hendricks, 2006). Esta prueba es reconocida universalmente como la práctica más valiosa y común para simular en laboratorio el proceso de coagulación y floculación de la planta, debido a que es una prueba rápida, de bajo costo y de la cual se pueden obtener resultados fidedignos, por lo que se utiliza en muchas aplicaciones (DeWolfe et al., 2003). Se ha utilizado para mejorar el desempeño o la expansión de las plantas de tratamiento ya construidas y en el diseño de nuevas plantas (AWWA, 2000).

El objetivo de la prueba de jarras es simular, lo mejor posible, las condiciones deseadas en las instalaciones de coagulación - floculación. El procedimiento general para esta prueba consiste en una mezcla rápida, por alrededor de 10 segundos o menos, donde se agrega el coagulante, seguida de un periodo de mezcla lenta para simular la floculación, de 15 a 30

minutos. Los parámetros que pueden medirse como parte de la prueba son: turbiedad, sólidos suspendidos, materia orgánica natural (MON) cuantificada como carbón orgánico total (COT), volumen del lodo producido, entre otros (ASTM, 2003).

Existen diferentes metodologías propuestas para la realización de la prueba de jarras, sin embargo, debido a la cantidad de variables en la coagulación - floculación y a las diferentes calidades de agua que se pueden tener, la prueba de jarras seguirá siendo un método empírico y difícil de estandarizar (Hendricks, 2006).

La prueba de jarras puede ser utilizada para lo siguiente: la selección del coagulante, selección de la dosis y concentración inicial del coagulante, selección del ayudante de coagulación (floculante), su concentración inicial y dosis, determinación del pH óptimo, determinación del tiempo de adición de los químicos para ajustar el pH y de los floculantes, optimización de la energía de mezclado y el tiempo para la mezcla rápida y la lenta, entre otros (Pizzi, 2005; AWWA, 2000).

b) Coagulantes y floculantes naturales. Los polímeros naturales son usados como auxiliares de floculación. Se producen en las reacciones bioquímicas naturales de los animales y plantas, como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos). Los que han tenido mejor rendimiento y tienen importancia para el uso en las plantas de tratamiento de agua son: los derivados almidón de mashua, goma de tara y tuna. Presentan una amplia gama de posibilidades, obteniendo grandes porcentajes de remoción de color y turbiedad, mejorando la calidad del efluente e incrementando la velocidad de sedimentación. Ventajas del uso de coagulantes y floculantes; sus principales ventajas radican en que:

- Mejoran la calidad de agua filtrada y decantada
- Reducción en el consumo de coagulantes primarios
- Reducción en el volumen de lodo sedimentado en el decantador

- Aumento de la remoción de microorganismos presentes en el agua cruda
- Mayor eficiencia en la desinfección, debido a la reducción de sólidos suspendido en el agua filtrada.

c) Tratamiento del agua. El agua es un elemento básico y necesario para la vida humana que en su composición trae una serie de impurezas suspendidas y disueltas que impiden que ésta sea adecuada para numerosos fines, entre ellos para su consumo. Con la finalidad de obtener agua para consumo humano, es que se han desarrollado diversos métodos para su tratamiento a través de la eliminación de sus impurezas. Dichos métodos se pueden dividir en la deposición de materia suspendida, tratamiento físico/químico de coloides y el tratamiento biológico; todos estos tienen diferentes aplicaciones.

d) Responsabilidad social. La ciudad de Huancavelica cuenta con más de 60 mil habitantes, tiene una tasa de crecimiento en la ciudad de más de 6% en los últimos años (INEI, 2017), evidenciándose así el crecimiento vertiginoso de la ciudad. Dentro de la revisión de antecedentes en inversión, desde mediados de los años 80's en la ciudad de Huancavelica no han existido proyectos de infraestructura orientados al tratamiento de aguas residuales que hayan tenido éxito. El único proyecto del cual se pudo tener conocimiento, es el proyecto de la PTAR de Antacocha, el cual, debido a problemas en el diseño, nunca llegó a operar.

El río Ichu proporciona agua para la agricultura y consumo a las poblaciones de las ciudades Ascensión y Huancavelica. Es por esto que la cuenca del río Ichu es sobre utilizada, ya que en ella se abastece la población más grande de la región de Huancavelica. Esta sobreutilización ha conllevado a su contaminación, por parte de los pobladores e instituciones que están ubicados en las cercanías del río. Por lo que se necesita la planificación de acciones para descontaminar sus aguas.

e) Responsabilidad Medio Ambiental. La Constitución Política del Perú, en su inciso 22 del artículo 2º, refiere el derecho fundamental a disfrutar de un ambiente equilibrado y apropiado que se traduce en el compromiso de Estado, así como de los ciudadanos de conservar aquellas condiciones indispensables para el desarrollo de la vida y procesos ecológicos. Cabe considerar que esta legalidad, en opinión de (Carhuatocto, 2009), tiende a resguardar la integridad de los seres humanos, resulta impugnabile al Estado y exigible a él, se requiere la participación de todos los actores sociales para su seguro cumplimiento. Así, puede ser que su acatamiento sea exigido por uno o todas las personas que integran la comunidad, pues su afectación le incumbe tanto a la sociedad, como a todos sus habitantes.

2.1.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

Se desarrollan teorías que dan la base teórica a la solución del problema de investigación. Se describen detalladamente cada uno de los elementos esenciales de la teoría, de tal manera que la formulación del problema y su solución es una deducción lógica de ella.

2.1.1.1. Agua. Referidos a este compuesto vital se describe:

a) Agua potable. Es considerada agua potable, toda agua natural o producida por un tratamiento de potabilización que cumpla con las normas de calidad establecidas para tal fin. Estas normas se basan en estudios toxicológicos y epidemiológicos, así como en consideraciones estéticas. El agua potable se produce a partir del agua contaminada que proviene de aguas superficiales (lagos, arroyos, lagunas, ríos, mares, océanos y glaciares), subterráneas (pozos profundos) y atmosféricas (lluvias).

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo del agua, es indispensable conocer sus

características físicas, químicas y microbiológicas antes de seleccionarla como fuente de agua cruda.

Siendo el agua indispensable para la vida, es necesario que los consumidores dispongan de un abastecimiento de agua satisfactorio, por lo que el abastecedor debe realizar el mayor esfuerzo posible para suministrar agua de la mejor calidad de acuerdo con las normas establecidas. Cada país es el encargado de establecer dichas normas y de vigilar su cumplimiento.

b) Calidad del agua. El agua es un componente fundamental de la vida y es esencial para una amplia gama de actividades económicas. También es un recurso limitado; a pesar de que alrededor del 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, solo el 2,5% de esta agua es fresca y únicamente el 0,3% del agua está disponible para el uso humano (Awang et al., 2015). Incluso en zonas con alta precipitación y en las principales cuencas de los ríos, el uso excesivo y la mala gestión del agua han creado graves limitaciones en la disponibilidad (Quevauviller y Thompson, 2006). La presencia de una fuente segura y confiable de agua es un requisito esencial para el establecimiento de una comunidad permanente. No es de extrañar que las fuentes de agua sean a menudo celosamente custodiadas y que a lo largo de los siglos muchos conflictos hayan tenido lugar sobre los derechos de agua (Tebbutt, 1998). Según la ANA (2020), el Perú ocupa el puesto número 8 en el mundo como país con mayor cantidad de agua superficial, lo que representa el 1.89% de disponibilidad total de agua dulce del planeta, además de poseer 159 cuencas hidrográficas divididas en tres regiones hidrográficas, la del Amazonas (84 cuencas), la del Pacífico (62 cuencas) y la del Titicaca (13 cuencas).

La calidad del agua en un cuerpo hídrico influye en la manera en que las comunidades utilizan el agua para actividades tales como beber, nadar o fines comerciales. Más específicamente, el agua puede ser utilizada por la comunidad para: el suministro de agua

potable, la recreación (natación, canotaje), el riego de cultivos y para abastecer al ganado, los procesos industriales, la navegación, la producción de peces comestibles, mariscos y crustáceos, la protección de los ecosistemas acuáticos, los hábitats silvestres, el estudio científico y la educación, etc. (Wang et al., 2015).

La contaminación de un ambiente acuático afecta la calidad del agua y esto significa la introducción directa o indirecta de sustancias lo cual resulta en problemas como: daños a los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas e interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria (Sierra, 2011). La calidad del agua de muchos ríos de alrededor del mundo se ha degradado debido a actividades antropogénicas dado que el agua, tomada para algún propósito y luego retornada, estará contaminada de un modo u otro. Por ejemplo, el agua de retorno agrícola contiene pesticidas, fertilizantes y sales; el agua proveniente de los desechos municipales contiene restos de fármacos, detergentes y desechos humanos; las centrales eléctricas descargan agua que está a temperaturas elevadas; y la industria también contribuye con un amplio rango de contaminantes químicos. Sin embargo, la contaminación del agua también puede deberse a causas naturales, como la meteorización y erosión del suelo, y causas humanas por vías no acuáticas, tal como el caso de los óxidos de azufre que se deposita en el agua desde el aire tras ser emitido por procesos de combustión (Masters y Ela, 2008).

La evaluación de la calidad del agua puede realizarse midiendo variables físicas (turbidez, sólidos totales, etc.), químicas (pH, cloruros, nitratos, etc.) o biológicas (coliformes totales, termotolerantes, etc.). Dichas mediciones se realizan ya sea en el campo o en el laboratorio, y producen varios tipos de datos que luego es necesario interpretar (Sierra, 2011). La aplicabilidad y la calidad de los resultados obtenidos en la evaluación pueden verse afectados por la distribución espacial de los sitios de muestreo, la frecuencia de muestreo, y el número de

sitios de muestreo. Por lo tanto, una evaluación inexacta de la calidad del agua puede causar la pérdida de valor para su uso y un costo de control de la contaminación innecesario (cuando se sobreestiman contaminantes), o alternatively, un mayor riesgo para la salud humana y el medio ambiente acuático (cuando se subestiman los contaminantes) (Wang et al., 2015). La relación entre calidad del agua de uso humano y la salud pública, está ampliamente reconocida; en este sentido, el aumento de la contaminación de ecosistemas hídricos provoca que estos recursos naturales se conviertan en inadecuados para el uso primario y/o secundario de la población (Sangani et al., 2015). Las actividades antropogénicas que influyen en la calidad del agua del río derivan de la ganadería (bovina y porcina), extracción de materiales de cantera, eliminación de aguas residuales domésticas sin tratamiento, vertederos incontrolados, y uso de fertilizantes y plaguicidas en agricultura, principalmente en las tierras bajas (Chávez et al., 2016).

ONU (2020) afirma, si bien se ha conseguido progresar de manera sustancial a la hora de ampliar el acceso a agua potable y saneamiento, existen miles de millones de personas (principalmente en áreas rurales) que aún carecen de estos servicios básicos. En todo el mundo, una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable salubre, dos de cada cinco personas no disponen de una instalación básica destinada a lavarse las manos con agua y jabón, y más de 673 millones de personas aún defecan al aire libre.

La pandemia de la COVID-19 ha puesto de manifiesto la importancia vital del saneamiento, la higiene y un acceso adecuado a agua limpia para prevenir y contener las enfermedades. La higiene de manos salva vidas. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el lavado de manos es una de las acciones más efectivas que se pueden llevar a cabo para reducir la propagación de patógenos y prevenir infecciones, incluido el virus de la COVID-19.

De los 17 objetivos globales de desarrollo sostenible de la ONU, establecidas el 25 de septiembre del 2015, el objetivo global 6 referidos al agua limpia y saneamiento tiene las siguientes metas:

- De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos
- De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad
- De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial
- De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua
- De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda
- De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos
- De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el

saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

- Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

c) Parámetros fisicoquímicos del agua

A. pH. El pH del agua indica el comportamiento ácido o básico de la misma, tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos, es de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática, ya sea generando daño en los peces o proliferando el crecimiento de algas. El pH también influye en la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, ejerce influencia sobre la toxicidad de ciertos compuestos como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, etc. (Sierra, 2011). Es una expresión de la concentración de iones hidronio (H^+) en una muestra de agua, el término se utiliza para indicar el grado de basicidad o acidez de una solución. La escala de pH es logarítmica y varía entre 0 y 14, siendo el pH 7 igual a neutro. Aguas con pH menor a 7 son aguas ácidas y aquellas con pH mayor a 7 son básicas o alcalinas (EPA, 2016).

El valor de pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, esto se refiere a la disolución de CO_2 atmosférico en el agua y la disolución de carbonatos de las rocas; tales procesos alteran drásticamente el pH de cualquier agua. Así mismo, la actividad fotosintética reduce el contenido de CO_2 mientras que la respiración de los organismos heterótrofos produce dióxido de carbono causando un efecto contrario con respecto al pH del medio acuático. Por otro lado, el aporte de ácidos que naturalmente pueden acceder a un medio hídrico lo podría acidificar; por ejemplo, el H_2S formado en aguas poco oxigenadas y con fuerte ambiente reductor, o los ácidos húmicos (ácidos débiles) provenientes de la mineralización de la materia orgánica; tampoco debe

olvidarse el fenómeno de la lluvia ácida. Efectos de alcalinización natural del agua, de forma opuesta, pueden detectarse vía disolución de rocas y minerales de metales alcalinos y alcalinotérreos del terreno drenado por el agua. La mayoría de los ríos, lagos y otros cuerpos de agua naturales tienen un pH que varía en un rango de aproximadamente 6,0 a 8,5.

B. Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica. La CE en un cuerpo de agua se ve afectada por la presencia de sólidos inorgánicos disueltos, tales como aniones cloruro, nitrato, sulfato y fosfato o cationes de sodio, magnesio, calcio, hierro, y aluminio, mientras que los compuestos orgánicos tienen una baja CE. La conductividad también se ve afectada por la temperatura, cuanto mayor es la temperatura del agua mayor es la CE; por esta razón, la conductividad se reporta como conductividad a 25°C. La conductividad eléctrica en el agua se debe a la ionización de sólidos inorgánicos disueltos y se convierten en una medida de STD. Es el índice básico para verificar la idoneidad del agua para fines agrícolas (Rizvi et al., 2016).

C. Color. Por comparación visual de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas o discos de cristal de color calibrados previamente con soluciones preparadas. La unidad para medición del color que se usa como estándar, es el color que produce 1 mg/l de platino en la forma de cloroplatinato. La proporción Pt-Co que se utiliza en este método es normalmente la adecuada para la mayoría de las muestras. El color puede cambiar con el pH de la muestra, por lo que es necesario, que, al medir el color, se reporte también el pH de la muestra. En caso necesario la muestra se centrifuga para eliminar la turbidez. La comparación se realiza con las soluciones que tengan colores de 5, 10, y hasta 70 unidades contenidas en tubos nessler.

D. Turbidez. La turbidez del agua se debe a la presencia de partículas insolubles, limo, partículas orgánicas de diferente origen, plancton y otros organismos microscópicos que

impiden el paso de la luz a través del agua. La turbidez mayor de 5 UTN es perceptible para el consumidor y proporciona una guía para la producción de agua aceptable para consumo humano. La turbidez es la medida de las propiedades de transmisión de la luz en el agua, siendo otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales, en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Los elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias. La alta turbidez suele asociarse con altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, diarreas y dolores de cabeza (DIGESA 2008).

E. Volumen de lodos. Las partículas sólidas presentes en el agua, se sedimentan debido a su densidad o permanecen flotando en ella. Estas materias sedimentadas pueden ser determinadas y reportadas en peso o en volumen.

F. Partículas no sedimentables. Sólidos totales (ST). La determinación gravimétrica de sólidos totales consiste en la evaporación de 200 ml de muestra homogenizada en una cápsula de porcelana previamente pesada y secada en una estufa a temperatura constante de 103 – 105°C, hasta que el peso de la cápsula sea constante. El aumento de peso en la cápsula representa el contenido de ST.

2.1.1.2. Procesos de coagulación y floculación. Para obtener agua con la calidad para el consumo humano, es necesario llevar a cabo un proceso de potabilización, que consiste en eliminar contaminantes presentes y cuyos métodos de tratamientos, varían con la densidad de población y el estado de desarrollo del país o región. En general, estas etapas comprenden: la clarificación, desinfección y acondicionamiento químico y organoléptico (Kelderman y Kruis, 2001).

La clarificación incluye los procesos de coagulación–floculación, donde la coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo

químico llamado coagulante. Los coagulantes poseen iones cargados positivamente como Al^{3+} o Fe^{3+} que cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo la aglomeración y la formación de coágulos que inicialmente son pequeños (Kelderman y Kruis, 2001).

La floculación por su parte, consiste en la aglomeración de las partículas desestabilizadas, que forman pequeñas masas con una densidad específica mayor que la del agua, por lo que sedimentan y permiten que haya una remoción de partículas coloidales y suspendidas del 80 a 90 por ciento durante su potabilización (Degremont, 1996). Además, este proceso reduce también la turbidez del agua, y parcialmente remueve el color, bacterias (80 a 90 por ciento) y virus (Romero y Vargas, 2006).

La elección del coagulante y del floculante es muy importante a la hora de la potabilización, ya que de esto va a depender la eficacia del tratamiento. Entre los coagulantes más usados se tiene el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso; entre otros (Andía, 2000).

Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar (Donato et al., 2006); y, los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido a que en grandes concentraciones pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer, lo cual ha sido demostrado en investigaciones médicas realizadas en Inglaterra, donde se ha encontrado que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1,5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0,110 mg/l (González et al., 1991).

Se tienen los floculantes orgánicos, que son polímeros extraídos de sustancias animales o vegetales; además se tienen los floculantes sintéticos, los cuales son polímeros obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada, y que se clasifican como

aniónicos (por ejemplo, los copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico), neutros (poliacrilamidas) y catiónicos (copolímero de acrilamidas y un monómero catiónico) (Andía, 2000).

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles, pero consta de tres tipos principales de impurezas: físicas, químicas y biológicas. Entre las impurezas físicas se encuentran los coloides. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad (Degremont, 1996).

Además, de turbiedad es posible también definir color. El color del agua se debe principalmente a materia orgánica o minerales en suspensión o en estado coloidal. Se habla de dos tipos principales de color; aparente si no se ha removido la turbiedad y verdadero del agua en caso contrario. En general el color se determina con tubos Nessler. Como impurezas físicas se encuentran los sólidos totales que en el agua se pueden clasificar en tres categorías según el tamaño de las mismas:

- Sólidos suspendidos (mayor a 10^{-6} m): estos pueden ser de origen mineral (arena, arcillas, etc.) u orgánico (productos de la descomposición de plantas y animales, por ejemplo, ácidos húmicos o fúlvicos) además, de estos compuestos. También, se encuentran microorganismos como bacterias, plancton, algas y virus. Los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez y el color del agua.

- Partículas coloidales (entre 10^{-6} m y 10^{-9} m): estas son sólidos suspendidos originadas de igual manera que los anteriores, pero con un tamaño inferior y una velocidad de sedimentación muy lenta. También son responsables de turbidez y color. Los coloides son normalmente estables en solución. En general priman los factores estabilizantes por sobre los desestabilizantes. Entre los factores estabilizantes se cuentan a todas las fuerzas o fenómenos

que generan repulsión; entre ellos y por tanto, las fuerzas electrostáticas y la hidratación son favorables. Las fuerzas de atracción, en cambio, cumplen un papel opuesto.

-Sustancias disueltas (menor a 10^{-9} m): estas son usualmente sustancias inorgánicas (como cationes y aniones) y sustancias orgánicas (como ácidos, alcoholes, aldehídos, etc.). También puede haber gases presentes (oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, etc.).

Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación (química o mecánica), floculación y sedimentación o de filtración. Las suspensiones coloidales están sujetas a ser estabilizadas y desestabilizadas.

Entre las fuerzas de estabilización o repulsión podemos mencionar las siguientes:

-La carga de las partículas.

-La hidratación, que generalmente es importante para los coloides hidrofílicos, aunque tienen menor importancia en este caso.

Los factores de atracción o desestabilización son los siguientes:

- **La gravedad**. Es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales y, por lo tanto, no se tratará con mayor detalle.

- **El movimiento browniano**. Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización.

- **La fuerza de Van der Waals**. Una fuerza débil de origen eléctrico, postulada por primera vez por el químico holandés Johannes Diderick van der Waals. Es un factor muy importante, pues constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas

fuerzas siempre atractivas, que decrecen rápidamente con la distancia, se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas.

En el tratamiento del agua, es común referirse a los sistemas coloidales como hidrófobos o suspensores cuando repelen el agua, e hidrófilos o emulsores cuando presentan afinidad con ella. Obviamente, los coloides hidrófobos no repelen completamente al agua, pues una película de ella es absorbida por los mismos pero pequeñas cantidades de electrolitos estabilizan un coloide hidrófobo. En los sistemas coloidales hidrófobos, las propiedades de la superficie de las partículas son muy importantes, principalmente en las aguas naturales, que pueden contener varios tipos de arcillas.

En la Figura N° 1 muestra el equipo clásico que se utiliza para la realización de la prueba de jarras. El aparato consiste, por lo general, de seis contenedores, y en cada una se ubica un agitador (que puede ser de paleta, de barra magnética o hélice), su forma y el tipo de mezclador no tienen un impacto apreciable en el desempeño del aparato (Bratby 2006; Hendricks, 2006).

Figura 1

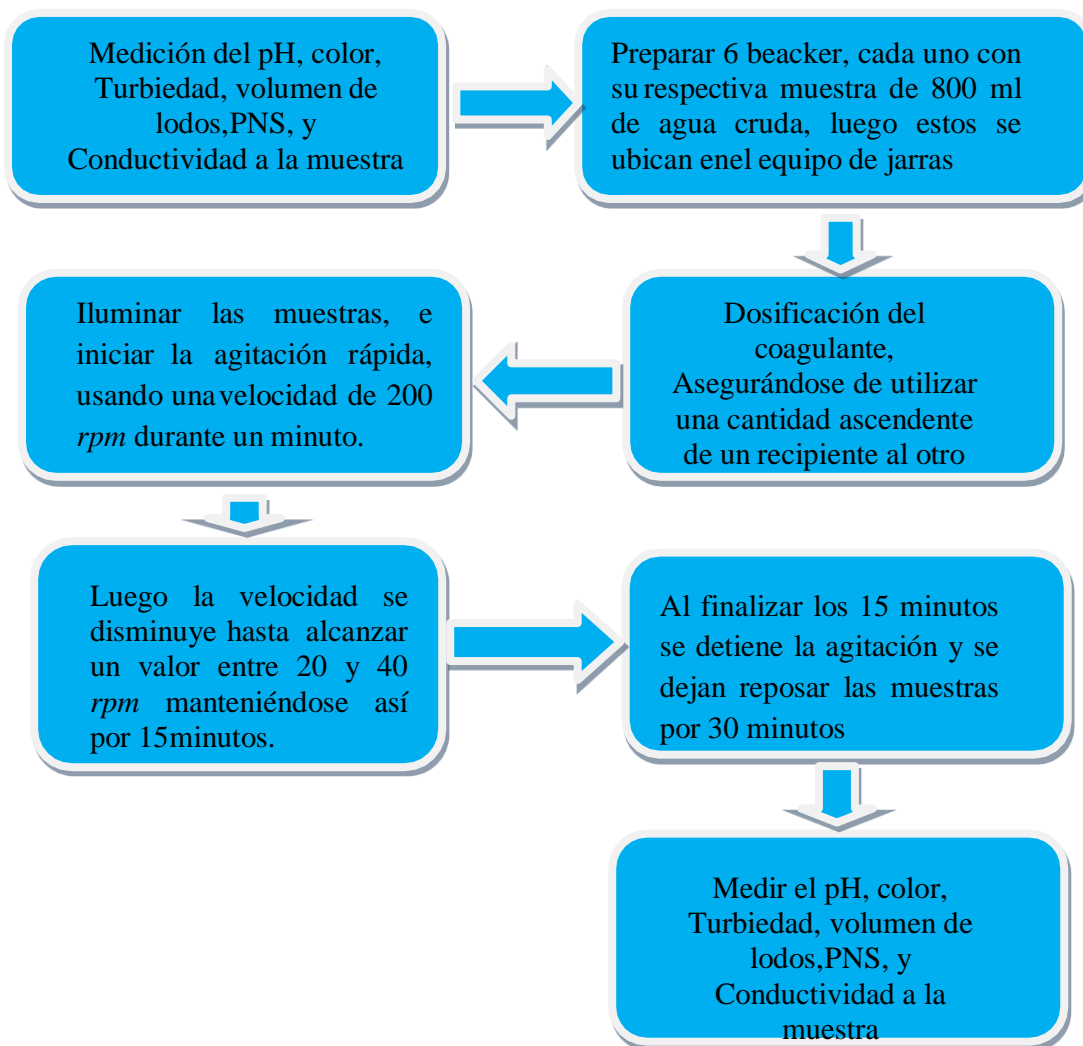
Equipo clásico para la realización de la prueba de jarras



El equipo de prueba de jarras cuenta además con un controlador de la velocidad de agitación del agua, lo que puede ayudar a simular las condiciones de mezclado reales a escala de planta. En la Figura N° 2 se observan el esquema de los procesos para la materialización de prueba de jarra.

Figura 2

Procesos de la Prueba de Jarras



2.1.1.3. Compuestos orgánicos sintéticos. Los compuestos químicos orgánicos provenientes de la industria, la agricultura y efluentes municipales son encontrados rutinariamente en fuentes de agua para abastecimiento humano. Las aguas superficiales son especialmente vulnerables a la captación de estos contaminantes. La gran mayoría de estos

compuestos son sintéticos, por lo que comprenden una amplia variedad de químicos, tales como (MWH, 2005): compuestos volátiles (benceno, tolueno, etc.), herbicidas (atrazina, 2,4-D, metoalaclor, etc.), plaguicidas (aldrín, lindano, dieldrín, etc.) y compuestos emergentes (fármacos, hormonas, etc.). A este tipo de sustancias se les denomina como micro contaminantes por la baja concentración a la que están presentes en cuerpos superficiales de agua, 1-500 $\mu\text{g/l}$ generalmente, que puede representar valores típicos de COD de 1 a 3 mg/l (MWH, 2005).

En la Tabla N ° 1 se muestra un resumen de los procesos existentes para la remoción de materia orgánica natural (MON) y sus principales inconvenientes.

Tabla 1

Resumen de procesos para la remoción de materia orgánica natural

Procesos	Remociones típicas de MON (por ciento)	Inconvenientes
Coagulación-floculación	10-60	Producción de lodos. Costo de reactivos
Adsorción	60-90	Agotamiento del carbón, y necesidad de regeneración o sustitución
Intercambio iónico	30-80	Agotamiento de la resina, y necesidad de regeneración o sustitución. Mayor costo que el proceso de adsorción.
Membranas	80->90	Requiere de pre tratamiento para prevenir taponamiento de membrana. Alto costo de las membranas
Ozonación	27-75	Eficiencias variables de remoción.

Fuente: (MWH, 2005)

2.1.1.4. Sedimentación. Los sólidos encontrados en el agua se componen de materiales inorgánicos y orgánicos, tales como partículas de suelo y pequeños trozos de vegetación, respectivamente. Los sólidos son una preocupación debido a que causan turbidez que es perjudicial para los peces al reducirles la visibilidad y ser abrasivos a sus branquias. Adicionalmente, el exceso de sólidos en el agua hace que sea difícil y costoso de tratar el agua potable y la desinfección de aguas residuales.

El primer tipo importante de sólidos para determinar la calidad del agua son los sólidos totales (ST), y se definen como todo el material que queda como residuo después de evaporación y secado del agua a 105°C. Los ST se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos. Los sólidos totales disueltos (STD) pasan a través de un filtro con poros de alrededor de 2 µm de tamaño, mientras que los sólidos totales suspendidos (STS) no lo logran (Sierra 2011). Los STD son moléculas e iones que se encuentran disueltos en el agua; la concentración de STD en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, productos de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan color, olor, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene (Jiménez, 2004).

Los STS pueden ser aportados tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierras y también por vertimientos urbanos e industriales. Dichas partículas en suspensión son sólidos inorgánicos y materia orgánica en proporciones muy variables. Los sólidos inorgánicos constituyen la mayor parte de la materia suspendida transportada por los ríos, procedentes de la erosión física y meteorización de las rocas continentales (Gonzales et al., 2011). La presencia de STS da lugar a la turbidez en agua, estas partículas provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la fracción más importante de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas naturales. Además, las algas en época de su floración también pueden provocar incrementos importantes de STS en medios hídricos

naturales. La materia en suspensión puede producir color aparente en el agua, disminuir el paso de la energía solar, por lo que es responsable de una menor actividad fotosintética, ocasionar depósitos sobre plantas acuáticas y las branquias de los peces, y sedimentos con lo que favorece la aparición de condiciones anaeróbicas (Gonzales et al., 2011). Los sólidos totales pueden afectar considerablemente la calidad de agua, por ejemplo, si se encuentran en grandes cantidades en el agua para consumo humano por lo general pueden provocar un sabor desagradable para el paladar. Adicionalmente, si las concentraciones de STD son demasiado altas o demasiado bajas en cuerpos de agua natural, se puede ver limitado el crecimiento de la vida acuática (Moscoso, 2016).

2.1.1.5. Cactus (*Opuntia ficus-indica*). Kiesling (2005) describe las principales características de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*): Son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, con forma simple o de matorrales. Poseen un tronco leñoso muy definido, con ramificaciones esparcidas o en forma de copa, con tallos y ramas articuladas. Pueden llegar a medir hasta 5 m de alto. Sus partes oblongas llamadas pencas alcanzan los 30 a 50 cm de ancho y 2 cm de espesor, son de color verde opaco. Algunas tienen espinas cortas, estas son débiles, blancas o amarillas. Poseen flores y frutos, ovalados de color rojo, naranja o amarillo.

Es una planta que no requiere tierras de gran calidad, puede crecer en terrenos poco fértiles y de escasa humedad. Son mínimos los cuidados que necesita, pueden vivir hasta 80 años. Se ven afectadas por las bajas temperaturas. Es originaria de América.

A lo largo de la geografía de América recibe distintos nombres como: Nopal, Tunera, Cardón, Higo mexicano. Penco, Palera, Tasajillo, Palma Forrageira, entre otros.

En base seca, contiene alrededor del 15.48% de proteínas, además de carbohidratos, cenizas y una gran humedad. Tiene baja acidez. En la pulpa hay alto contenido de azúcares. Por lo general, los azúcares presentes son considerados reductores, predomina la glucosa (60%) y la

fructosa (40%). A continuación, en la Tabla N ° 2 se muestra su clasificación taxonómica y Figura N ° 3 la planta de la tuna (*Opuntia ficus indica*).

Tabla 2

Clasificación taxonómica de la tuna

Taxonomía	
Reino	: Vegetal
Subreino	: Embryophita
División	: Angiospermae
Clase	: Dicotyledonea
Subclase	: Dialipetalas
Orden	: Opuntiales
Familia	: Cactaceae
Subfamilia	: Opuntioideae
Tribu	: Opuntiae
Género	: Opuntia

Fuente: (Kiesling, 2005)

Figura 3

Planta de la tuna (Opuntia ficus indica)



2.1.1.6. Tubérculo (*Tropaeolum tuberosum*). La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo originario de los Andes centrales, perteneciendo así al grupo de los Raíces y Tubérculos Andinos, su producción está concentrada en región andina del Perú. De acuerdo al idioma presenta varios nombres.

Descripción Botánica del tubérculo (*Tropaeolum tuberosum*). Es una planta anual, herbácea de crecimiento erecto cuando es tierna y de tallos postrados con follaje compacto cuando madura lo que les permite competir ventajosamente con las malas hierbas. Las hojas son alternas, delgadas, verde oscuras brillantes y más claras en el envés. Las flores son solitarias, zigomorfas e intensamente pigmentadas. Los tubérculos pueden ser cónicos, cónicos alargados, cilíndricos, horizontales o curvos. Su color puede ser blanco, blanco amarillento, amarillo claro, amarillo oscuro, anaranjado, morado, jaspeado y con jaspes y bandas. Generalmente miden de 5 a 15 cm de largo y de 3 a 6 cm. De ancho (Tapia, 1997).

Es considerada una planta muy resistente al ataque de insectos y hongos en comparación de otras plantas tales como oca y el olluco.

La mashua es una planta de fácil cultivo que puede ser cosechada a los 6 u 8 meses de su siembra, y desarrolla en pisos altitudinales elevados. Crece en suelos pobres y no requiere del uso de fertilizantes ni pesticidas, es resistente a las heladas, y en estado natural es capaz de repeler insectos y nemátodos. En la Tabla N ° 3 se presenta la Clasificación taxonómica de la mashua, en la Figura N ° 4 y Figura N ° 5 la flor y tubérculo de la mashua respectivamente.

Los tubérculos pueden ser almacenados hasta seis meses en lugares fríos y ventilados, inclusive pueden ser guardados bajo el suelo para ser extraído cuando se necesiten. El cultivo de la mashua es muy productivo, llega a rendir hasta 25 t/ha.

Tabla 3

Clasificación taxonómica de la mashua

Reino:	Plantae
Filo:	Angiospermae
Clase:	Dicotyledoneae
Orden:	Brassicales
Familia:	Tropaeolaceae
Género:	Tropaeolum
Especie:	T. Tuberosum

Figura 4 4 4

La flor de la mashua



Figura 5*La mashua*

2.1.1.7. La tara (*Caesalpinia Spinoza*). La tara (*Caesalpinia Spinoza*), es un arbusto de tipo leguminosa originario del Perú que predomina en zonas secas y valles interandinos de Suramérica (He et al., 2016), se aprovecha en la industria química (taninos), alimenticia (aditivo hidrocoloide) y farmacéutica (ácido gálico, antioxidante) (Melo et al., 2013). Los taninos de *Caesalpinia Spinoza* son usados en medicina tradicional por sus propiedades antiinflamatorios, antimicóticos, antibacterianos, antisépticos, antitumorales y antioxidantes (Murga et al., 2016); su contenido de taninos está en un rango de 0,2 a 25% del total de masa seca, dependiendo de la especie vegetal, tiempo de cosecha, hábitat y método de extracción (Cuong et al., 2020). En la Figura N ° 6 se presenta la goma y semilla de tara.

Figura 6

Goma y semilla de tara

**2.1.1.8. Gestión integrada del agua y desarrollo sostenible**

Gestión sostenible. Es un decálogo de valores humanos, éticos y medioambientales, desde la perspectiva de la calidad y la excelencia que tienen por objeto dotar a las sociedades de un instrumento de referencia para el desarrollo sostenible de las instituciones y/o comunidades. En CIAMA (1992), se estableció principios rectores para atender la relación agua y desarrollo sostenible. Con esta declaración se inicia a nivel mundial una nueva visión, de la relación del agua con el desarrollo sostenible, los cuatro principios rectores son plenamente vigentes en la actualidad y pueden conducir los esfuerzos mundiales hacia las metas de la Agenda del Desarrollo Sostenible al 2030 de las Naciones Unidas (ADS, 2030). En la Tabla N° 4 se muestra los cuatro principios rectores. En la Conferencia de Dublín, los expertos consideraron que la situación de los recursos hídricos mundiales se estaba volviendo crítica (CIAMA, 1992).

Tabla 4*Declaración de Dublín, principios rectores para atender la relación agua y desarrollo sostenible*

Principio 1

El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente. Dado que el agua es indispensable para la vida, la gestión eficaz de los recursos hídricos requiere un enfoque integrado que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el aprovechamiento del agua en la totalidad de una cuenca hidrológica o un acuífero.

Principio 2

El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles. El planteamiento basado en la participación implica que los responsables de las políticas y el público en general cobren mayor conciencia de la importancia del agua. Este planteamiento entraña que las decisiones habrán de adoptarse al nivel más elemental apropiado, con la realización de consultas públicas y la participación de los usuarios en la planificación y ejecución de los proyectos sobre el agua.

Principio 3

La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua. Este papel primordial de la mujer como proveedora y consumidora de agua y conservadora del medio ambiente viviente rara vez se ha reflejado en disposiciones institucionales para el aprovechamiento y la gestión de los recursos hídricos. La aceptación y ejecución de este principio exige políticas efectivas que aborden las necesidades de la mujer y

la preparen y doten de la capacidad de participar, en todos los niveles, en programas de recursos hídricos, incluida la adopción de decisiones y la ejecución, por los medios que ellas determinen.

Principio 4

El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico. En virtud de este principio, es esencial reconocer ante todo el derecho fundamental de todo ser humano a tener acceso a un agua pura y al saneamiento por un precio asequible. La ignorancia, en el pasado, del valor económico del agua ha conducido al derroche y a la utilización de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante de conseguir un aprovechamiento eficaz y equitativo y de favorecer la conservación y protección de los recursos hídricos.

Fuente: (CIAMA, 1992).

Resumen de la gestión ambiental nacional. En la Tabla N ° 5, se listan los importantes hitos de la gestión ambiental nacional, que en esencia buscan desarrollar una cultura ambiental y conciencia en los ciudadanos y organizaciones que los motiven a ejecutar buenas prácticas ambientales que aseguren el desarrollo sostenible de su comunidad y del mundo.

Tabla 5*Resumen de los principales hitos de la gestión ambiental nacional*

Año	Hitos
1990	Aprobación del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.
1993	Se emite la nueva Constitución Política del Perú, actualmente vigente.
1994	Creación del CONAM.
1997	Ley de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales.
2001	Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.
2001	Primera Concesión para Conservación.
2004	Ley Marco del SNGA y Reglamento.
2005	Ley General del Ambiente.
2008	Ley de creación del Ministerio del Ambiente y la ANA.
2011	Nueva Ley Forestal y de Fauna Silvestre.
2011	Plan Nacional de Acción Ambiental del 2011 al 2021.
2012	Aprobación de Ejes y Objetivos Estratégicos de la Gestión Ambiental.
2012	Aprobación de la Política Nacional de Educación Ambiental.
2012	Ley de creación del SENACE
2017	Actualización de ECA de agua, aire y suelos.

2.1.2. Marco Filosófico

Las aguas contaminadas para ser usado en el consumo humano, son sometidas a una serie de tratamientos, para así garantizar la remoción total o parcial de partículas extrañas, mediante diferentes métodos los cuales incluyen la clarificación, floculación y sedimentación. La clarificación es una etapa importante dentro del proceso de tratamiento de aguas, que incluye proceso de coagulación-floculación en el cual las partículas presentes en el agua se aglomeran formando pequeños gránulos con un peso específico mayor; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance las características físicas y organolépticas idóneas, las cuales garantiza la eliminación de contaminantes según las normas y estándares nacionales e internacionales de salud pública (Gonzales et al ., 2006). Generalmente las plantas de tratamiento de aguas convencionales utilizan como coagulantes las sales de aluminio o de hierro para desestabilizar partículas coloidales, pero en tiempos actuales se proponen la utilización de coagulantes naturales como en la región de Huancavelica, con el propósito de reducir el consumo de reactivos químicos; sin embargo, el desarrollo de estos coagulantes no tiene un auge significativo debido a la comercialización y utilización de polímeros sintéticos en procesos convencionales de tratamiento como coagulantes primarios o ayudantes de floculación, los cuales pueden presentar a largo plazo una serie de problemas, entre los cuales se encuentra; niveles demasiado altos de monómeros residuales en los productos finales (Ochoa, 2003), persistencia en el medio durante muchos años, ocupando espacio en los rellenos sanitarios y causando daño al ambiente por la emisión de gases si se les incinera sin los cuidados necesarios; generando de esta manera sustancias peligrosas y efectos secundarios en la salud humana principalmente enfermedades neurológicas como Alzheimer (Molano, 2011).

Los polímeros orgánicos o de origen natural presentan diferentes propiedades entre las cuales se encuentra la alta viabilidad para formar geles, debido a su compleja estructura

molecular y a su gran capacidad de hidratación; alta idoneidad complejante que es la responsable de la retención de iones metálicos; gran potencial biodegradable; y mínima toxicidad en polímeros naturales por lo que se les usa en muchos casos como alimentos o aditivos en diversos productos. De acuerdo con lo anterior, las alternativas de tratamiento de aguas basadas en la utilización de coagulantes naturales en los procesos de clarificación, se hace más que necesaria, imprescindible teniendo en cuenta las condiciones económicas actuales de muchos países (Vázquez, 1994).

2.1.3. Marco Legal

En la presente sección, se presentan las principales normas nacionales e internacionales de gestión ambiental relacionadas con la calidad del agua, desarrollo sostenible, Estándares de Calidad Ambiental.

A. Constitución Política del Perú de 1993. La Constitución Política del Perú de 1993, establece que los recursos naturales son patrimonio de la nación y corresponde al Estado regular su buen uso y aprovechamiento sostenible. Establece que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales. La constitución reconoce que la persona como el fin supremo de la sociedad y del Estado, que tiene derecho a un ambiente adecuado y el deber de conservarlo (MINAM y SPDA, 2017).

B. Sistema Nacional de Gestión Ambiental. En junio del 2004 se emitió la “Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental”, Ley N ° 28245 y al año siguiente su Reglamento, que regula el funcionamiento del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA). La ley marco estableció el alcance multisectorial y los principios de gestión, función pública y coordinación ambiental. Definió una autoridad ambiental nacional y las competencias sectoriales sobre aspectos ambientales específicos. Asimismo, la norma incluyó entre las funciones de la autoridad ambiental la dirección del Sistema Nacional de Evaluación de

Impacto Ambiental (SEIA) y la administración del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

C. Ley General del Ambiente. En octubre del 2005 se aprobó la “Ley General del Ambiente”, Ley N ° 28611, que dispone los principios y normas básicas para la gestión ambiental, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país. El 2008, mediante el Decreto Legislativo N ° 1055, se ajustaron los 4 artículos de la Ley General del Ambiente, con la finalidad de facilitar la adecuación al acuerdo de promoción comercial entre Perú y Estados Unidos.

D. Gestión de Recursos Hídricos. En el marco de la gestión integrada de los recursos naturales, en marzo del 2008, se creó la Autoridad Nacional del Agua (ANA), por Decreto Legislativo N ° 997, con la responsabilidad de administrar, conservar, proteger y promover el uso sostenible y responsable del agua en las cuencas hidrográficas del país.

Mediante la Ley de Recursos Hídricos - Ley 29338, de marzo del 2009, establecen el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH), y reconocen a la ANA, como su ente rector y máxima autoridad, organismo público actualmente adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI).

E. Ministerio del Ambiente. En mayo del 2008 se aprobó la Creación del Ministerio del Ambiente (MINAM), mediante Decreto Legislativo 1013, asignándole la responsabilidad de planificar, promover, coordinar, normar, sancionar y supervisar las acciones de protección ambiental y conservación de los recursos naturales. Las funciones del CONAM fueron absorbidas por el MINAM. Entre las funciones del MINAM, está promover la construcción de una cultura ambiental nacional y fomentar la educación ambiental. Asimismo, promover la investigación científica, la innovación tecnológica y la información ambiental. Entre sus funciones están también las de formular y proponer políticas y estrategias para la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. La Ley estableció además que los

órganos adscritos al MINAM serían: el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP), y el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP); cada una de las cuales tiene funciones y atribuciones específicas para mejorar la institucionalidad y el gobierno ambiental nacional (MINAM, 2016b).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. De acuerdo a la orientación

Tipificada como aplicada, porque la investigación está orientada a solucionar problemas prácticos de una realidad concreta como la calidad de las aguas del río Ichu, específicamente al problema de sedimentos en el agua presente en el periodo de lluvia, la satisfacción de las demandas de agua para uso poblacional.

3.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación

Tipificada como descriptiva correlacional, porque los datos son obtenidos directamente de muestras de agua, dosificaciones de polímeros naturales y artificiales; y medidos en el laboratorio de la UNALM, que sirven para alimentar las bases de datos para estimar los diferentes parámetros que definen la calidad del agua.

3.2. Población y muestra

Tamayo y Tamayo (1997), define la población como en conjunto de personas involucradas en el fenómeno a estudiar, y que poseen unas características comunes. Se puede decir entonces, relacionando con el concepto anterior que la población es el conjunto de todas las personas u objetos que guardan características comunes y son participes en un estudio determinado en un espacio temporal. En la presente investigación:

- La población hídrica en estudio fueron las aguas de la cuenca de río Ichu-Huancavelica.

La muestra, es un subconjunto de la población, que conservan las mismas características, en consecuencia, la muestra a estudiar fueron las aguas del río Ichu-Huancavelica.

3.2.1. Localización del área de estudio

La sub cuenca río Ichu está ubicada en los distritos de Acoria, Yauli, Ascensión, Castrovirreyna, Huachocolpa, Huancavelica, Huando, Mariscal Cáceres, Nuevo Occoro, Palca y Paucará de la provincia y región Huancavelica. Tiene una superficie de 1 383,17 kilómetros cuadrados (138 317,21 ha), su punto más bajo se encuentra a 3100 m.s.n.m. y su punto más alto se encuentra a 5 100 m.s.n.m.

El río Ichu tiene su origen en los 5 100 m.s.n.m., en sus nacientes está conformado por los ríos Cachimayo y Astobamba, que se origina en los nevados Terciopelo y Antarago. Ocho Zonas de Vida están presentes en la sub cuenca Ichu. En la Figura N ° 7 se presenta la ubicación y localización de la subcuenca del río Ichu.

3.2.2. Ubicación Geográfica

Geográficamente la sub cuenca Ichu está comprendida entre las coordenadas UTM (WGS 84 Zona 18) 495822E, 8552783N; 507690E, 8614417N. Altitudinalmente está comprendida entre los: 3100 a 5 100 m.s.n.m., con un área de 1 383,17 km², perímetro de 219,71 km., y con una longitud de cauce principal de 102,96 km.

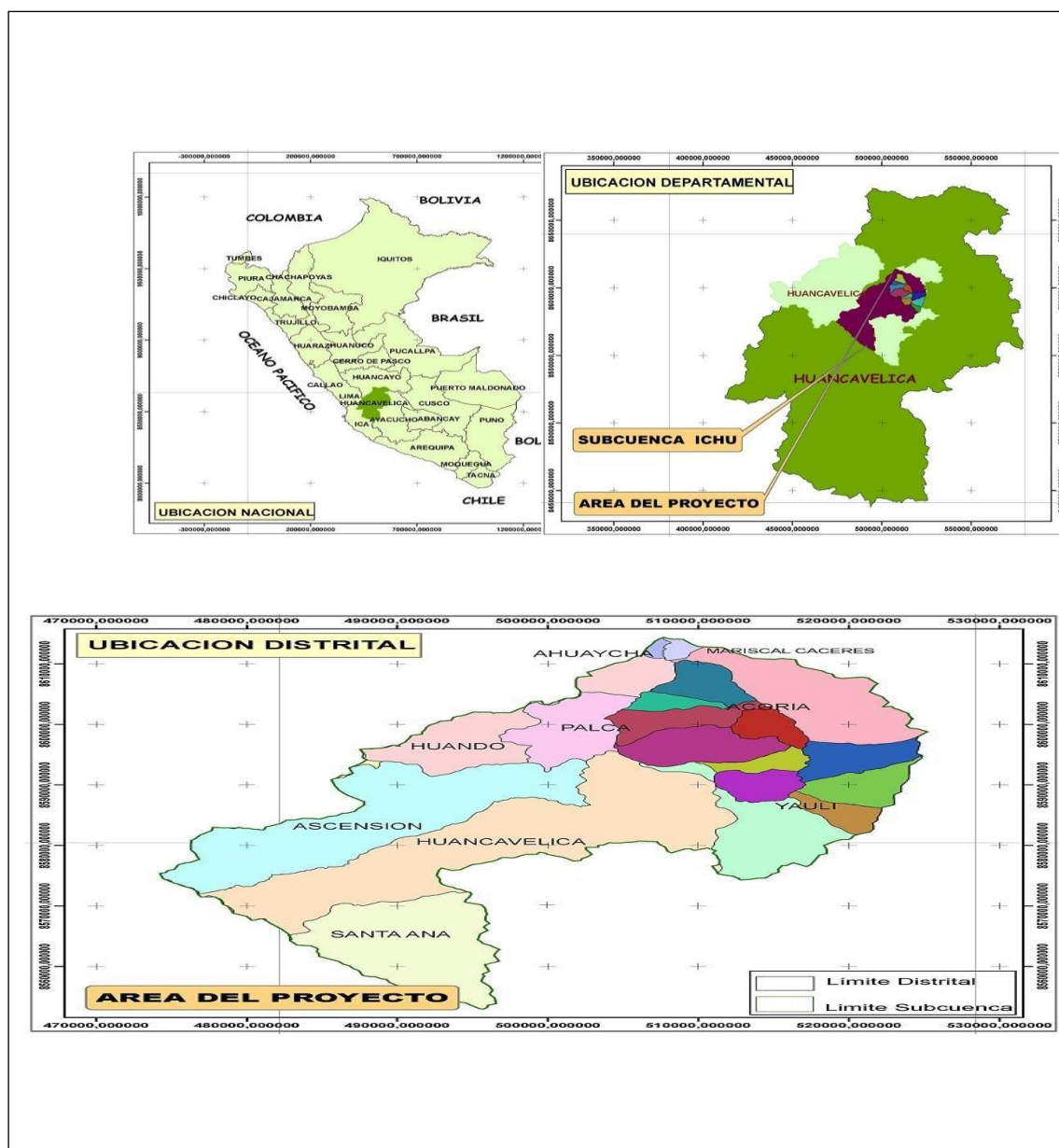
3.2.3. Hidrografía

El río Ichu tiene su origen en los 5 100 m.s.n.m., en sus nacientes está conformado por los ríos Cachimayo y Astobamba, que se origina en los nevados Terciopelo y Antarago. El rumbo del río Cachimayo es de norte a sur, en cuyo trayecto recibe las aguas de la laguna Islacocha donde confluye con las aguas provenientes de la quebrada Pumacocha, el cual se une aguas abajo con el río Astobamba, formando el río Ichu, que toma el rumbo noroeste, recorriendo el distrito de Huancavelica. En su recorrido por el distrito, recibe las aguas de las quebradas Chumbispampa, Botica y Machocorral, llegando a la hacienda de Callqui, donde

cambia el rumbo hacia el sur-este, hasta confluir con el río Sacsamarca. Toma el rumbo oeste hasta llegar al distrito de Yauli, donde recibe las aguas de la quebrada Mashuaraccra, luego cambia de rumbo hacia el norte, llegando al distrito de Acoria. Previo a desembocar en el río Mantaro, recibe las aguas de los ríos Palca y Tinyaccla. Así mismo en esta sub cuenca se encuentran las lagunas de Pumacocha, Tilacocha, Cajancocha, Pucacocha, Yanacocha, Queullacocha, entre los principales. El río Ichu, pasa por los poblados de Huancavelica, Yauli y Acoria.

Figura 7

Ubicación y localización de la subcuenca del río Ichu



3.2.4. Fisiografía

En el ámbito regional que abarca parte de la Cadena Central y Occidental de los Andes Centrales del Perú, presenta unidades geomorfológicas variadas, debido básicamente a la interacción de los diferentes procesos orogénicos y epirogénicos, ocurridos en épocas pasadas, pudiendo identificarse cinco unidades geomorfológicas:

- a) Llanura aluvial, casi plana, constituida por sedimentos aluviales relativamente recientes, depositados a manera de franjas angostas y paralelas a los ríos Mantaro, Ichu, San Juan entre otros.
- b) Llanura lacustre, alrededor de las lagunas, formada por sedimentos depositados en el pasado, actualmente presenta superficies planas, la mayoría cubiertas de suelos orgánicos, con drenaje imperfecto pobre, diseminados principalmente sobre los 4 000 m.s.n.m.
- c) Laderas o colinas, se caracteriza por las ondulaciones pronunciadas, con pendientes mayores al 25% y alturas hasta de 3 000 metros, producto de la acción tectónica pasada.
- d) Montañas, se caracterizan por su topografía empinada en laderas que sobrepasan el 70% de pendiente y están constituidas por material lítico, principalmente volcánico. Esta unidad es la más extensa y dominante en la región, ocupa todo el territorio que es atravesado por las cadenas montañosas occidental, central y oriental.
- e) Glacial, esta unidad se caracteriza por su modelado típico de la acción glacial del pasado, en la que la dinámica de las masas de nieve formó el paisaje, en su configuración actual se aprecian valles en U y depósitos significativos de acción fluvio-glacial posterior. En la Figura N ° 8, se presenta una vista panorámica del río Ichu.

Figura 8

Rio Ichu



3.2.5. Climatología

El clima en la región es variado, tal como se muestra en la Tabla N ° 6, va desde el semicálido muy seco, en el lado occidental hasta el templado – cálido subhúmedo, en el lado oriental, pasando por climas fríos y muy fríos, húmedos y subhúmedos, correspondientes a las zonas ecológicas de Bosque, Páramo y Tundra. El clima varía según los pisos altitudinales existentes, en términos globales podemos considerar:

Templado Sub húmedo (2 000 – 3 000 m.s.n.m.), con temperaturas superiores a 20 °C y precipitaciones anuales inferiores a 500 mm, puede sobrepasar en las partes altas los 1200 mm.

Frío (3 000 – 4 000 m.s.n.m.), de montaña alta, con una temperatura anual de 12 °C y un promedio de precipitaciones de 700 mm.

Frígido (4 000 – 5 000 m.s.n.m.), colinas, mesetas y cumbres andinas donde las

temperaturas medias es 6 °C y las precipitaciones mayores a 700 mm.

En la mayor parte de la sub cuenca, las lluvias se inician en octubre y terminan en abril, aunque en la zona baja de la sub cuenca el ciclo se inicia en septiembre y en algunas áreas de la parte alta en el mes de diciembre Las heladas comienzan en junio y se prolongan hasta el mes de setiembre. Los vientos en las zonas altas y medias se encuentran presentes entre los meses de agosto y setiembre y en las zonas bajas el período es relativamente más largo dado que cobran relevancia a partir del mes de julio.

Cabe asimismo agregar que el estiaje (sequías), en la parte alta es en el mes de mayo a agosto, en la media, de mayo a octubre y en la baja, de mayo a setiembre.

Tabla 6

Características climáticas de la sub cuenca Ichu

Características	Zonas			
	Alta	Media	Baja	
Clima	Lluvias	Octubre a abril	Noviembre a abril	Setiembre/octubre a marzo/abril
	Heladas	Junio a setiembre	Junio a setiembre	Mayo/junio a agosto/setiembre
	Vientos	Agosto/setiembre	Agosto a noviembre	Julio a agosto/setiembre

El clima predominante es llamado el clima de tundra. Incluso en el mes más caluroso del año las temperaturas son muy bajas. El clima aquí es clasificado como ET (clima de tundra) por el sistema Köppen-Geiger La temperatura media anual en la sub cuenca se encuentra a 9.0 °C, y se tiene una precipitación de 784 mm.

3.3. Operacionalización de las variables

La Operacionalización de las variables independientes como dependientes se muestra en la Tabla N ° 7.

Tabla 7

Operacionalización de las variables

Tipo de Variables

Variable	Definición	Tipo de variable según su naturaleza	Escala de medición
Independiente			
Acción coagulante	La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico o polímero orgánico llamado coagulante. Los coagulantes poseen iones cargados positivamente como Al^{3+} o Fe^{3+} que cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo la aglomeración y la formación de coágulos que inicialmente son pequeños.	Cuantitativa	Intervalo
Dependientes			
Tratamiento de agua	El tratamiento del agua es el proceso de naturaleza físico, química y biológica, mediante el cual se eliminan una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para el consumo o le comunican un aspecto o cualidad organoléptica indeseable y la transforma en agua apta para consumo.	Cuantitativa	Intervalo

3.3.1. Definición de indicadores

Turbidez: La turbidez del agua se debe a la presencia de partículas insolubles, limo, partículas orgánicas de diferente origen, plancton y otros organismos microscópicos que impiden el paso de la luz a través del agua. La turbidez mayor de 5 UTN es perceptible para el consumidor y proporciona una guía para la producción de agua aceptable para consumo humano. La turbidez es la medida de las propiedades de transmisión de la luz en el agua, siendo otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales, en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Los elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias. La alta turbidez suele asociarse con altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, diarreas y dolores de cabeza (DIGESA 2008).

Concentración del Coagulante. Relación de la masa del agente activo por volumen de solución.

Color. Está asociado a sustancias que se encuentran disueltas o suspendidas en el agua.

Por la comparación visual de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas o discos de cristal de color calibrados previamente con soluciones preparadas. La unidad para la medición del color que se usa como estándar, es el color que produce 1 mg/l de platino en la forma de cloroplatinato. La relación de cobalto a platino, se puede variar para igualar el matiz. La proporción Pt-Co que se utiliza en este método es normalmente la adecuada para la mayoría de las muestras. El color puede cambiar con el pH de la muestra, siendo necesario medir el color y que se reporte también el pH de la muestra.

Sólidos totales (ST). La determinación gravimétrica de sólidos totales consistió en la evaporación de 200 ml de muestra homogenizada en una cápsula de porcelana previamente pesada y secada en una 43 estufa a temperatura constante de 103 – 105°C, hasta que el peso de la cápsula sea constante. El aumento de peso en la cápsula representó el contenido de ST.

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica de una solución es la medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. Como la contribución de cada especie iónica a la conductividad es diferente, su medida dará un valor que no está relacionado, de manera sencilla, con el número total de iones en solución; lo que depende, también, de la temperatura. La conductividad eléctrica en las aguas naturales se correlaciona con la cantidad de sólidos disueltos ya que estos en su mayoría son compuestos iónicos de calcio y magnesio.

3.4. Instrumentos

Es cualquier medio del que se puede valer el investigador para acercarse a los hechos a estudiar y tomar de ellos las opiniones que considere necesarios.

- Las técnicas del trabajo obtienen: sedimentos, pH, conductividad eléctrica, volumen de lodos, color y la turbidez.
- Los instrumentos utilizados fueron: el turbidímetro, medidor pH, equipo prueba de jarras y cronómetro.

Técnicas analíticas

Las técnicas analíticas que se utilizarán en la determinación de los parámetros a estudiar en las pruebas se enlistan a continuación en la Tabla N ° 8 (APHA et al., 2005).

Tabla 8

Técnicas a utilizar para la determinación de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro Unidad de medida	Técnica	Materiales y Equipos
		Filtro de fibra de vidrio
Sólidos suspendidos totales, mg/l	APHA et al. 1995. 2540C	Whatman GF/A de 55 mm Balanza analítica OHAUS™ Explorer
Turbiedad, UTN	APHA et al. 1995. 2130B	Turbidímetro Turbiquant 1000 IR de Merck
pH	APHA et al. 2005 4500H+B	Equipo multiparámetro Orion 4 Star

Fuente: (APHA et al., 2005).

3.5. Procedimientos

Para cumplir con los objetivos establecidos en la investigación, se trabajó con las siguientes fases:

3.5.1. Pruebas de jarras del proceso de coagulación-floculación

Materiales y reactivos

a. Agua cruda utilizada en las pruebas. Las pruebas de coagulación-floculación se realizaron utilizando las aguas colectadas en el río Ichu, que dota de agua a la ciudad de Huancavelica. Previamente a cada prueba del laboratorio, el agua cruda se caracterizó midiendo los parámetros: pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, color y sólidos suspendidos totales.

b. Coagulantes y floculantes. Se contactaron a los principales proveedores de coagulantes y floculantes en Perú (en particular de sulfato de aluminio, polímeros orgánicos).

Los productos utilizados en este estudio se preseleccionaron tomando como base el criterio de seguridad sanitaria de los productos utilizados. Las sustancias activas del producto fueron aprobadas para su uso seguro en el tratamiento del agua potable.

c. Pruebas de coagulación-floculación. Los experimentos de coagulación-floculación se llevaron a cabo mediante pruebas de jarras en el periodo 2021.

Diseño de experimentos

Cada objetivo específico corresponde al desarrollo de un experimento para el logro del objetivo general.

Experimento 1: Evaluar la variabilidad de los parámetros físicos y químicos del agua superficial cruda del río Ichu a nivel de laboratorio de análisis de calidad de aguas.

Experimento 2: Determinar la mejor combinación y dosis óptima de coagulante-floculante para la remoción de color y turbiedad del agua cruda en el río Ichu; a través de la prueba de jarras.

3.6. Análisis de datos

En esta investigación se utilizó el método de análisis cuantitativo, a fin de realizar el análisis estadístico inferencial con respecto a las hipótesis planteadas. Para ello, se consideraron los datos obtenidos de cada una de las variables.

Se obtuvo la muestra de tierra de la rivera del río Ichu y al mismo tiempo agente que permitió aumentar el grado de turbiedad del agua, se disolvió en un litro de agua hasta alcanzar

160 UNT (unidades nefelométricas de turbiedad). Así que se tomaron varias dosis de la muestra hasta encontrar la óptima de trabajo. El proceso consistió en pesar diferentes dosis en la balanza, luego diluir en un balón volumétrico 1 litro de agua y la muestra de tierra. Una vez diluida la solución, se procedió a tomar lectura de la turbiedad haciendo uso del turbidímetro, finalmente se tomaba nota del resultado.

Procedimiento generalizado para el sulfato de aluminio

Etapa I. Dosis óptima, concentración óptima y pH óptimo de sulfato de aluminio

1. En la primera etapa se realizó las pruebas de jarras para determinar la dosis óptima del coagulante primario sulfato de aluminio, agregándole diversas dosis de coagulante a cada una de las jarras que contenían agua con la turbiedad establecida. La dosis obtenida en la jarra fue el que arroja menor turbiedad.

2. Se procedió a efectuar las pruebas para hallar la concentración óptima y pH óptimo del coagulante respectivamente, con la dosis óptima ya obtenida.

3. Esta dosis óptima de sulfato de aluminio se tomó en cuenta más adelante para obtener la dosis de polímero.

Etapa II. Floculación

1. Establecido la dosis y concentración óptima del coagulante sulfato de aluminio se procedió a realizar las pruebas de floculación con las gradientes de 80, 60, 40 y 20 s^{-1} . Luego de iniciada la floculación, al cabo de 5 minutos se retiró la primera jarra, se colocó el tomador de muestra y se dejó sedimentar durante 10 minutos, al cabo del cual se procedió a medir la turbiedad, obteniéndose los resultados mostrados en las tablas.

Cada 5 minutos de intervalos, se retiró en forma consecutiva las demás jarras y se procedió con cada una de un modo similar al de la primera jarra.

2. Se determina la turbiedad residual (T_f) de cada muestra, se calcula la eficiencia remocional (T_f/T_o) y se registran los datos en el grafico Turbiedad (UNT) vs Tiempo (min); este grafico permite obtener tiempo de floculación total.

3. A continuación, se graficó la “Turbiedad vs Gradiente de velocidad”, la cual nos permite ubicar los puntos de máxima remoción en cada curva de tiempo, obteniéndose los gradientes de velocidad con los que cada tiempo de retención se optimiza.

4. Estos puntos nos permiten obtener la ecuación de la curva más aproximada, se procede a utilizar el método de mínimos cuadrados.

5. Se determinan los valores de “a”, “b” y el grado de ajuste “ R^2 ”. El grado de ajuste es aceptable si ($R^2 > 0,90$), se continua el cálculo, en caso contrario se deberá repetir el procedimiento de laboratorio.

6. Con los valores obtenidos, se determina el gradiente óptimo, aplicando la ecuación que es la expresión:

$$G^n T = K$$

“n” y “k” se determina como consecuencia del presente estudio. Con lo cual se obtiene la gráfica Gradiente (s^{-1}) vs Tiempo de retención (min).

7. Esta ecuación y el tiempo de floculación total permite hallar las gradientes óptimas de floculación para cada tramo, para luego pasar a la etapa de decantación.

Etapa III. Decantación

1. Se programó la memoria del equipo de prueba de jarra, con los valores de gradientes de velocidad obtenidos en la etapa de floculación y tiempos de mezcla seleccionados.
2. Terminada la floculación, detener el equipo, retirar cada vaso, colocar los flotadores para tomar la muestra, sin producir perturbaciones en las suspensiones. Medir las profundidades de los tubos de succión de los flotadores (altura es 6 cm), el cual es la profundidad de toma de muestra.
3. En el proceso de sedimentación se tomó las muestras en diferentes momentos que fueron a 1, 2, 3, 4, 5, 10 min. Para las jarras 1, 2, 3, 4, 5 y 6 respectivamente.
4. Se determinó la turbiedad residual de cada muestra seleccionada con la utilización del equipo multiparámetro.
5. Se calculó los valores de la velocidad de sedimentación (V_s)

$$V_s = \frac{h}{t}$$

6. Se graficó los valores de $C = T_f/T_o$ en las ordenadas y los valores de V_s en las abscisas, obteniéndose la curva de sedimentación para la muestra de agua estudiada. De esta grafica se determina los valores de C_f y a .
7. Determinar la remoción total, basado en el criterio de selección de la tasa de decantación, con la siguiente expresión:

$$R_t = (1 - (C - C_f)) \frac{(a + V_s)}{2 \times V_s} \times (C - C_f)$$

8. Calcular la turbiedad removida T_r y la turbiedad final o remanente

$$T_f T_r = R_t \times T_o$$

$$T_f = T_o - T_r$$

9. Determinar la tasa de decantación, la cual varía entre (20 a 60 m³/m²d), será aquella V_s o tasa que arroje como turbiedad (T_f) menor a 2 UNT, lo cual es la máxima que se puede permitir para ingreso a la unidad de filtración.

3.7. Consideraciones éticas

La ética en la presente investigación se manifiesta a través de la honradez en el trabajo, practica del amor a la verdad, modestia para estimar los trabajos de otros investigadores y la ciencia al servicio de la humanidad. También teniendo en cuenta las normas dispuestas por la Escuela de Postgrado de la Universidad Federico Villarreal, cuya estructura toma en cuenta la Resolución Rectoral para el desarrollo de investigaciones, cumpliendo con los estándares utilizados en la comunidad científica, como el uso de la norma APA versión 7 para la redacción, y la estructura de los contenidos según el Reglamento General de Grados y Títulos de la UNFV.

IV. RESULTADOS

4.1. Agua tipo: 160 UNT (Unidades nefelométricas)

4.1.1. Dosis, concentración y pH óptimo del sulfato de aluminio

a) Dosis óptima

- Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 9 se muestra los datos del agua cruda o agua bruta, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para determinar la dosis de sulfato de aluminio.

Tabla 9

Datos para calcular la dosis óptima de sulfato de aluminio

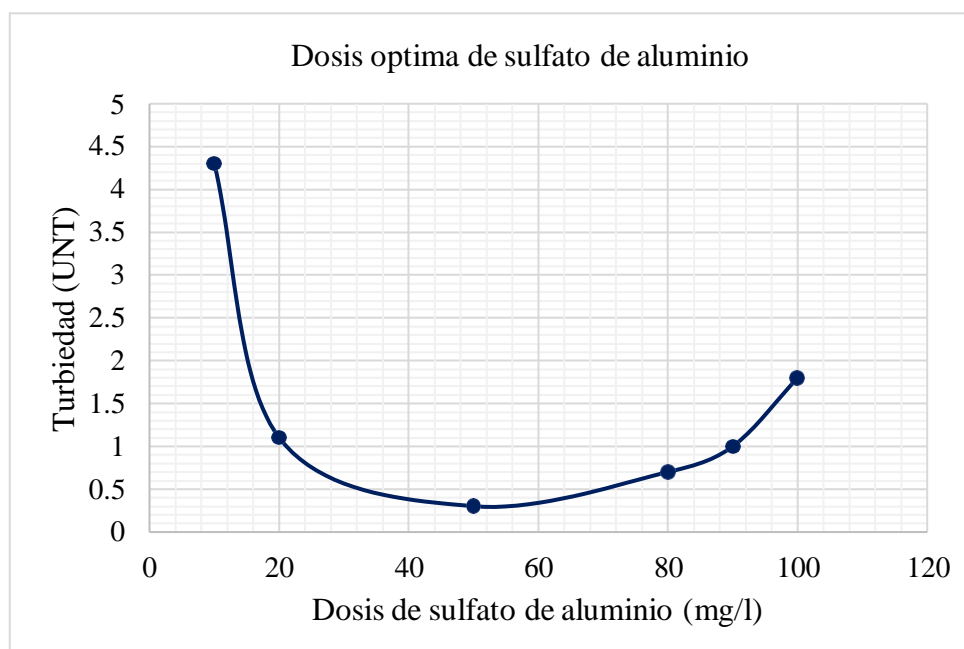
Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio	Variable
pH	7.34	Concentración de sulfato de aluminio	2%
Alcalinidad (mg/l)	120		

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

El resultado de la dosis óptima del sulfato de aluminio fue de 50 mg/l, obteniéndose una turbiedad residual de 0.3 UNT, tal como se puede observar en la Tabla N ° 10 y Figura N ° 9 respectivamente. Estos resultados se tomaron como referencia para evaluar la eficiencia de la goma de tara y tuna, almidón de mashua como coagulante.

Tabla 10*Dosis óptima de sulfato de aluminio*

Dosis (mg/l)	10	20	50	80	90	100
Turbiedad (UNT)	4,3	1,1	0,3	0,7	1,0	1,8

Figura 9*Dosis óptima de sulfato de aluminio***b) Concentración óptima de sulfato de aluminio****- Calidad de agua cruda**

En la tabla N ° 11 se muestra los datos del agua cruda o agua bruta, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para la determinación de la concentración óptima de sulfato de aluminio

Tabla 11*Datos para calcular la concentración de sulfato de aluminio*

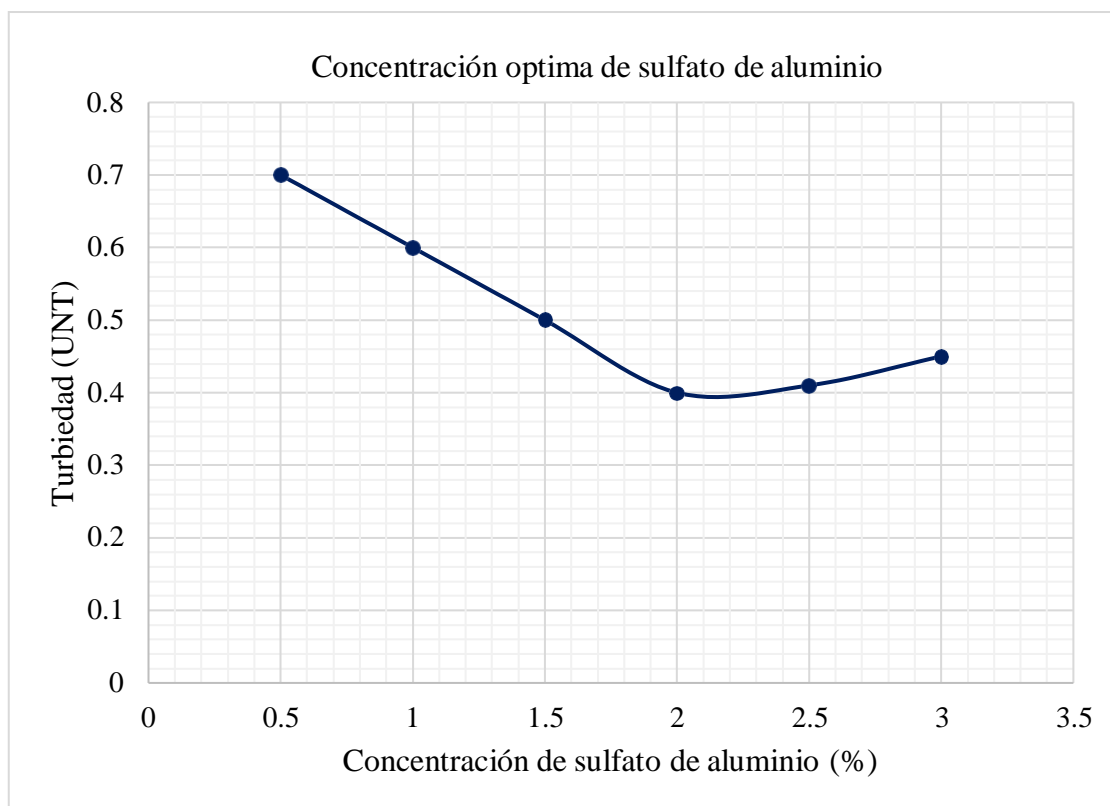
Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio	50 mg/l
pH	7.34	Concentración de sulfato de aluminio	Variable
Alcalinidad (mg/l)	120		

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

En la Tabla N ° 12 y Figura N ° 10 se observa que con una dosis óptima de 50 mg/l de sulfato de aluminio se obtuvo una concentración óptima de 2 %, resultando una turbiedad de 0.4 UNT.

Tabla 12*Concentración óptima de sulfato de aluminio*

C (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Turbiedad (UNT)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,41	0,45

Figura 10*Concentración óptima de sulfato de aluminio***c) pH óptimo****Calidad de agua cruda**

En la tabla N ° 13 se muestra los datos del agua cruda o agua bruta, es decir aquella que no ha recibido ningún tratamiento la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio; para la determinación del pH óptimo.

Tabla 13*Datos para calcular el pH óptimo*

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	50
pH	Variable	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120		

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

En la Tabla N ° 14 y Figura N ° 11 se observa que con una dosis optima de 50 mg/l y concentración optima de 2 %, se obtuvo un pH óptimo de 8.5, obteniéndose una turbiedad de 0.36 UNT.

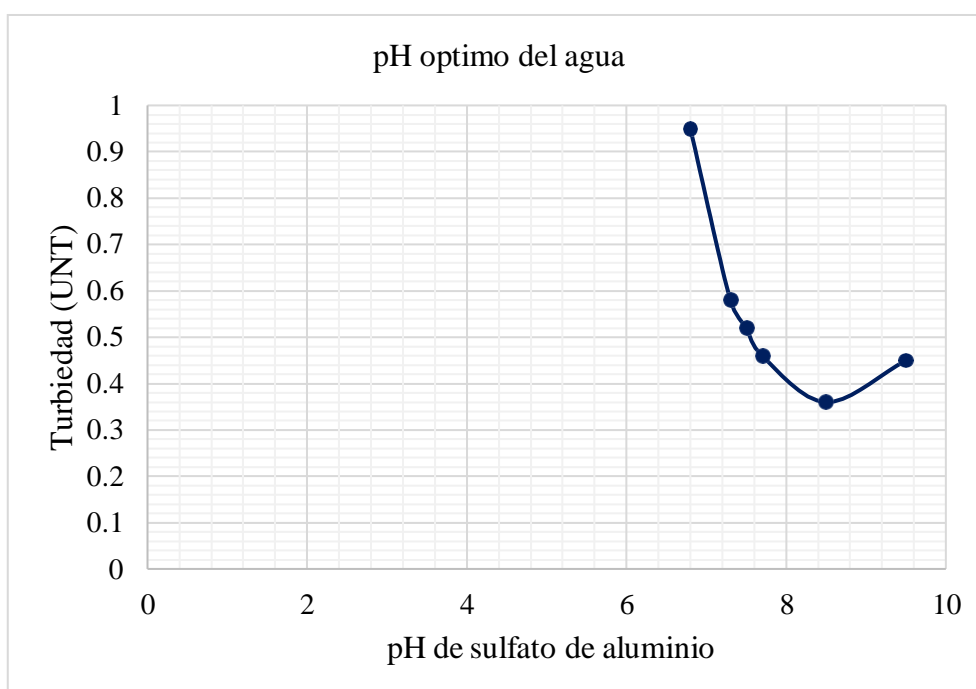
Tabla 14

pH de optimo sulfato de aluminio

pH	6,8	7,3	7,31	7,7	8,5	9,5
Turbiedad (UNT)	0,95	0,58	0,52	0,46	0,36	0,45

Figura 11

pH optimo sulfato de aluminio



4.1.2. Etapa de floculación

Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 15 se muestra los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de floculación.

Tabla 15

Datos para el ensayo de floculación

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	50
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120		

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

Se ensayo para gradientes de velocidad de 80, 60, 40, y 20 s⁻¹ y tiempos de floculación de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos respectivamente; el resultado se muestra en la Tabla N ° 16 y Figura N ° 12.

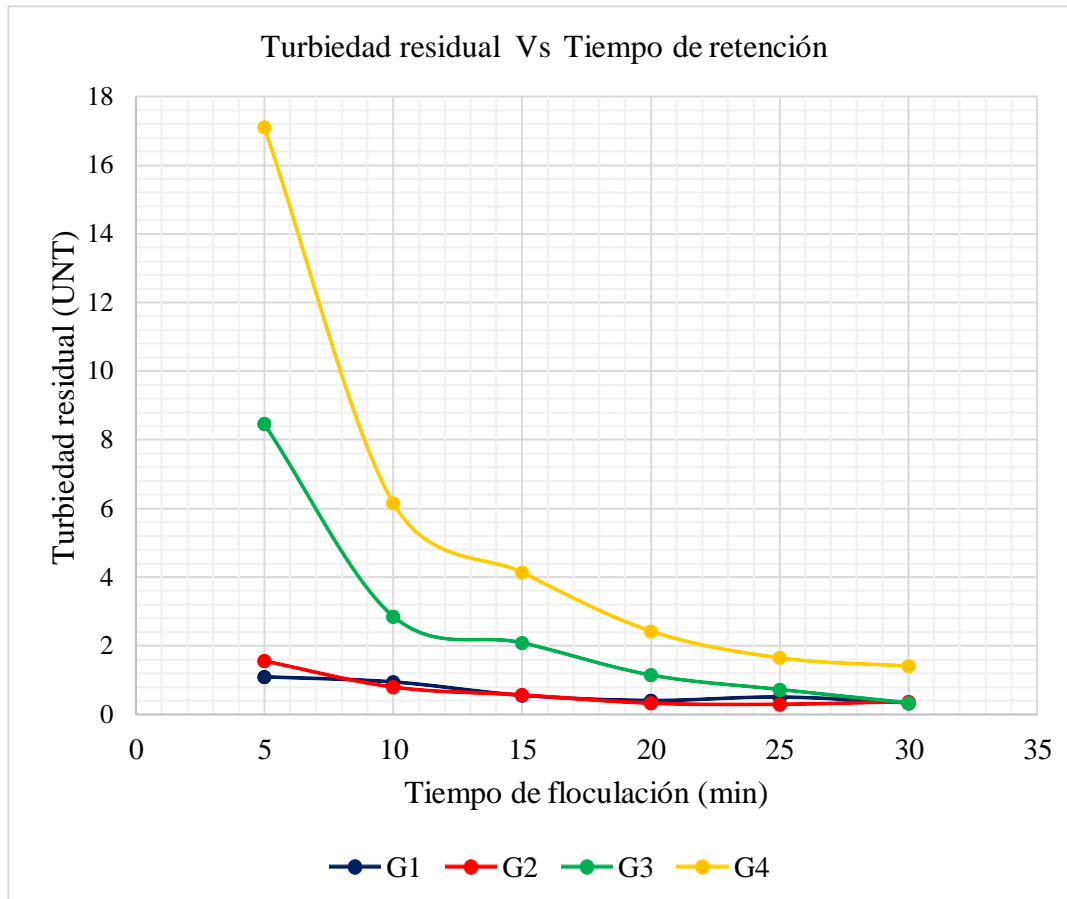
Tabla 16

Resultados del ensayo de floculación

Grupos	G (s ⁻¹)	V (rpm)	Tiempo (min)					
			5	10	15	20	25	30
G1	80	55	1,10	0,95	0,56	0,41	0,51	0,34
G2	60	45	1,56	0,80	0,57	0,33	0,30	0,38
G3	40	35	8,46	2,86	2,09	1,15	0,73	0,34
G4	20	20	17,1	6,16	4,14	2,43	1,65	1,41

Figura 12

Turbiedad residual Vs tiempo de retención



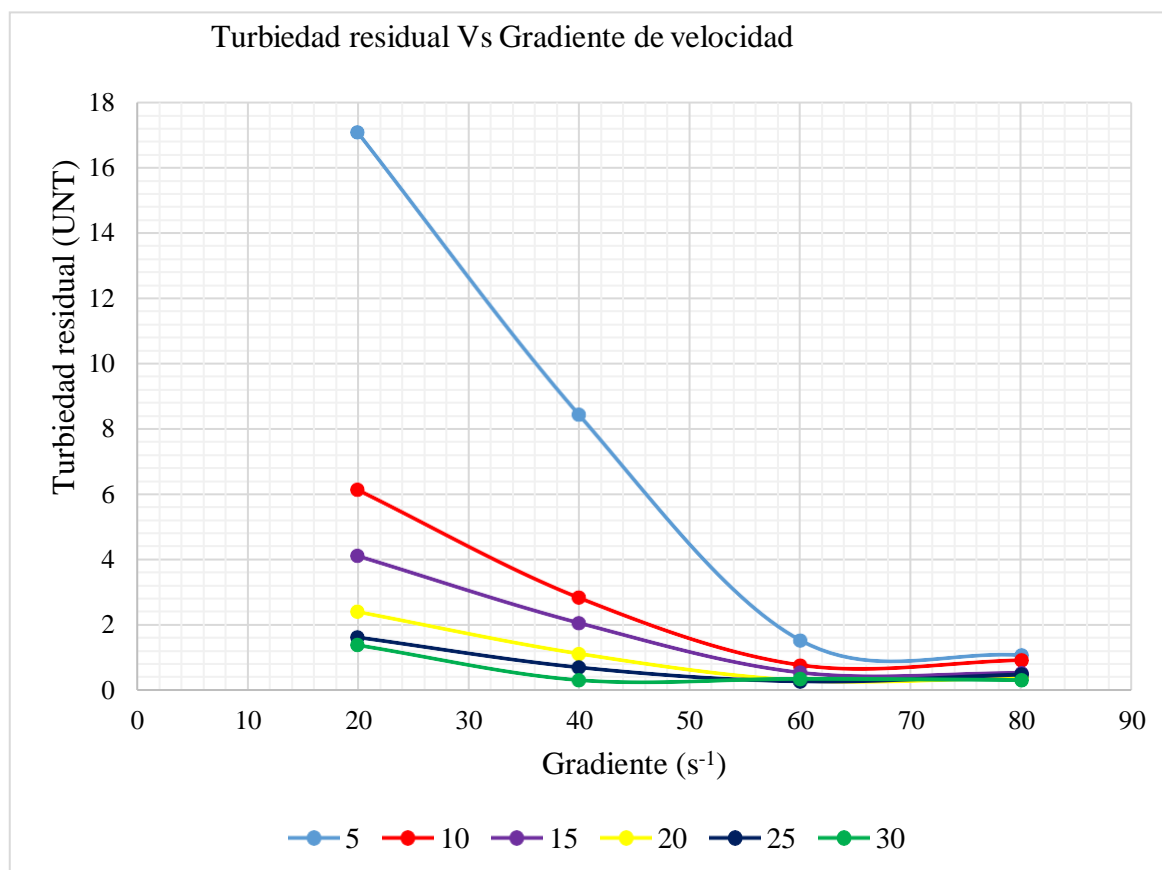
De la Figura N ° 12 la curva más baja del grafico es $G_2 = 60 \text{ s}^{-1}$ está indicando que el proceso optimiza en un tiempo de floculación total de 25 minutos.

Tiempo total de floculación = 25 minutos

Se observa que la gradiente de velocidad variar en forma uniformemente decreciente. Estamos dentro del rango porque el tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua.

Figura 13

Turbiedad residual Vs gradiente de velocidad

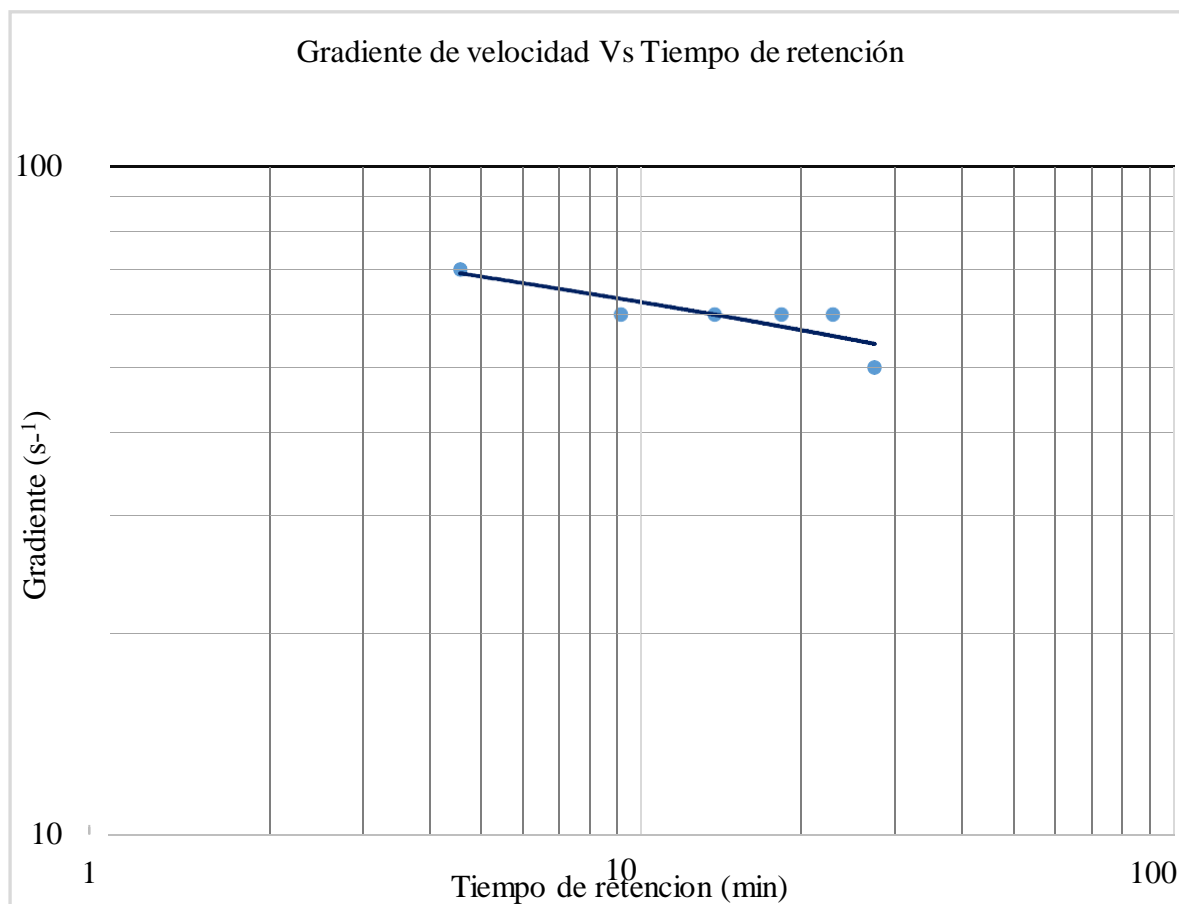


En la Figura N ° 13 se ubica los puntos de máxima remoción con cada uno de estos tiempos se obtienen los gradientes de velocidad con los que cada tiempo de retención optimiza, se presenta en la Tabla N ° 17.

Tabla 17*Gradientes de velocidad optima de floculación*

Punto	1	2	3	4	5	6
t(min)	5	10	15	20	25	30
G(t-1)	70	70	60	60	50	50

Aplicando mínimos cuadrados a los datos de la tabla 19 se obtiene el grado de ajuste: $R^2=0,91$

Figura 14*Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención*

De la Figura N ° 14 se obtiene las gradientes con que se realizaron la decantación, para un tiempo total de floculación de 25 minutos hallado anteriormente, cuyos resultados se muestran en la Tabla N ° 18.

Tabla 18

Gradientes de decantación

Mezcla lenta		Gradiente
Parcial	Total	(s⁻¹)
8	8	67
8	16	60
9	25	56

4.1.3 Etapa de decantación

Este procedimiento físico en el que se separó por gravedad los sólidos provistos de mayor densidad de otro que, al tener menor densidad, ocupó la parte superior de la mezcla heterogénea.

Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 19 se muestra los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de decantación.

Tabla 19*Datos para el ensayo de decantación*

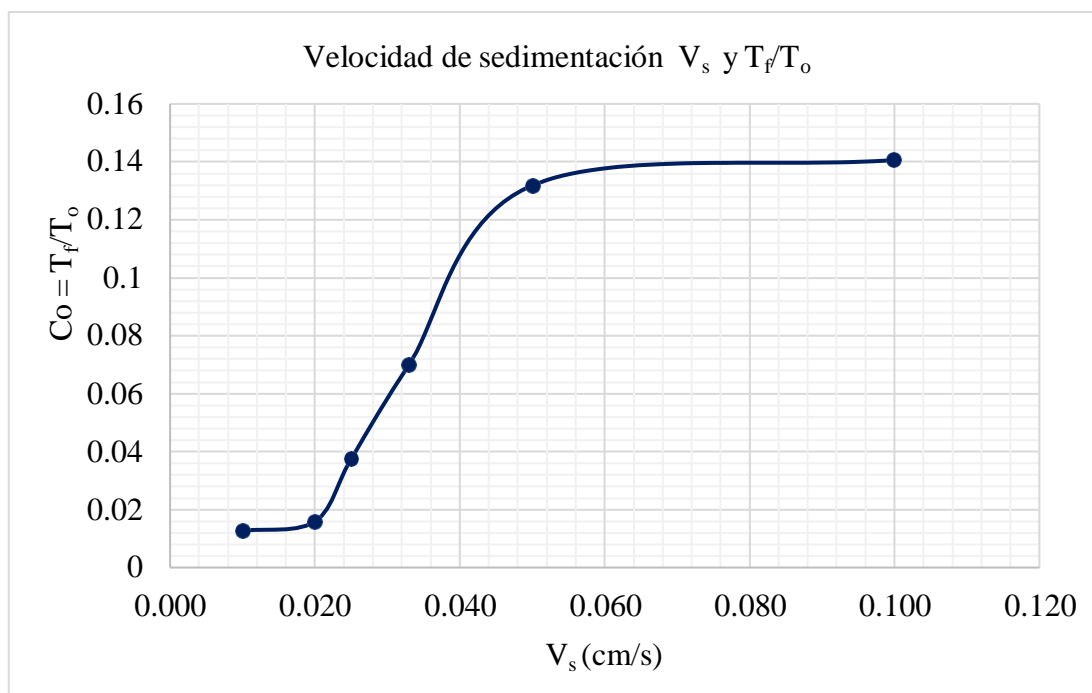
Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	50
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120		

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 25 min	

En la tabla N ° 20 y Figura N ° 15 se muestran los resultados de ensayo de la decantación, el cual es un método físico utilizado para la separación de mezclas heterogéneas, usado para separar sólidos de líquidos.

Tabla 20*Resultados de ensayo de decantación*

Jarra	Tiempo (min)	Velocidad (cm/s)	T _f (Turbidez) (UNT)	T _f /T ₀
1	1	0.100	22.5	0,140625
2	2	0.050	21.1	0,131875
3	3	0.033	11.2	0,070000
4	4	0.025	5.99	0,037438
5	5	0.020	2.54	0,015875
6	10	0.010	2.03	0,012688

Figura 15*Curva de sedimentación*

En la tabla N ° 21 se muestran los resultados de la tasa decantación con sulfato de aluminio, resultando 0,987.

Tabla 21*Selección de la tasa de decantación*

q_s (m/d)	V_s (cm/s)	C_o	$1-(C_o-C_f)$	R_t	T_r	T_f
25	0,029	0,057	0,955	0,9915	158,64	1,36
26	0,030	0,058	0,954	0,9908	158,52	1,48
27	0,031	0,059	0,953	0,9900	158,41	1,59
28	0,032	0,062	0,95	0,9889	158,22	1,78
29	0,034	0,065	0,947	0,9877	158,03	1,97
30	0,035	0,077	0,935	0,9843	157,50	2,50

4.2 Dosis óptima goma de tara – reducción sulfato de aluminio

a) Dosis óptima goma de tara

- Calidad de agua cruda

Se muestran en la tabla N ° 22 los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para determinar la dosis óptima de goma de tara.

Tabla 22

Datos para el cálculo de dosis óptima de goma de tara

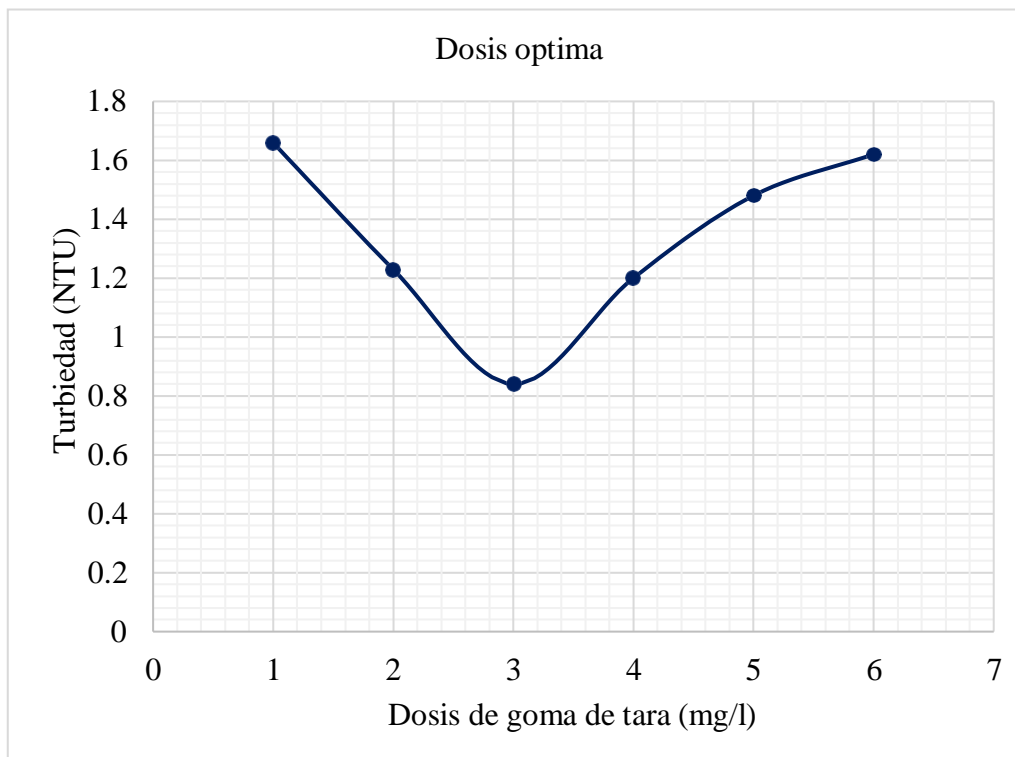
Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	50
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tara (%)	0,2
		Dosis óptima goma de tara	Variable

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

El resultado de la dosis óptima de goma de tara fue de 3 mg/l, tal como se puede observar en la Tabla N ° 23 y Figura N ° 16 respectivamente.

Tabla 23*Dosis óptima de goma de tara*

Dosis (mg/l)	1	2	3	4	5	6
Turbiedad (UNT)	1.66	1.23	0.84	1.20	1.48	1.62

Figura 16*Dosis óptima de goma de tara***b) Reducción del sulfato de aluminio****- Calidad de agua cruda**

En la tabla N ° 24 se muestran los datos del agua cruda o agua bruta, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para la determinación de la concentración óptima de sulfato de aluminio con goma de tara.

Tabla 24

Datos para el cálculo de dosis óptima de sulfato de aluminio con goma de tara

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio	Variable
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tara (%)	0,2
		Dosis optima de goma de tara (mg/l)	3

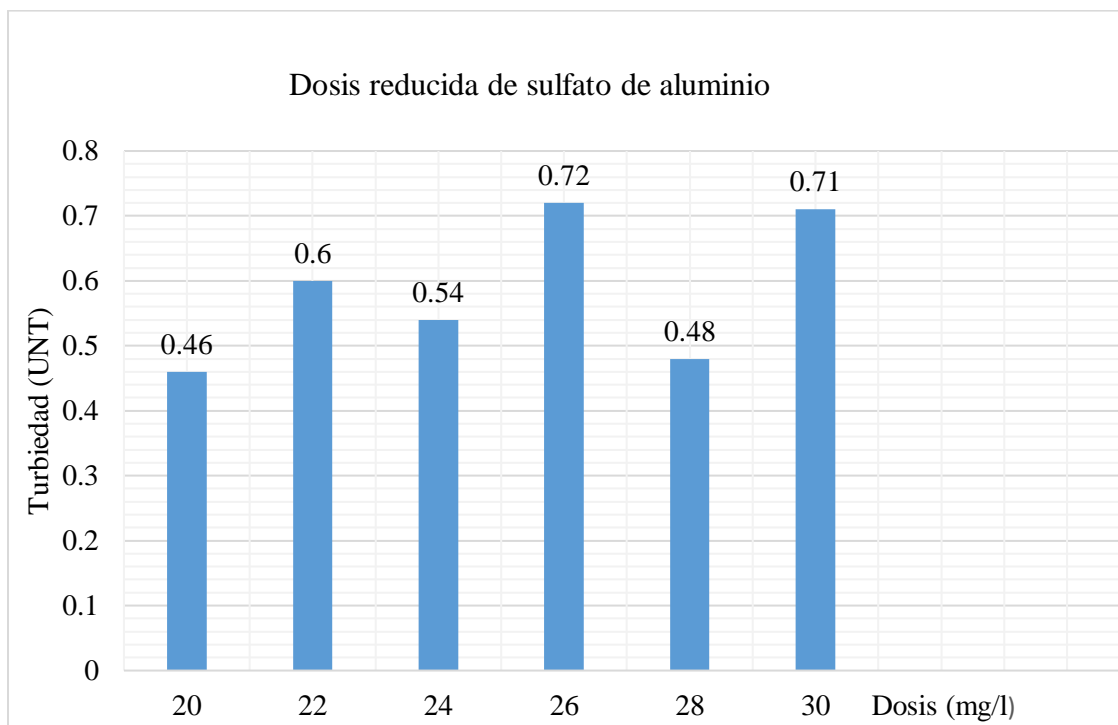
Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

En la Tabla N ° 25 y Figura N ° 17 se observa una dosis reducida de sulfato de aluminio con goma de tara de 20 mg/l, resultando una turbiedad de 0.46 UNT.

Tabla 25

Reducción de sulfato de aluminio con goma de tara

Dosis (mg/l)	20	22	24	26	28	30
Turbiedad (UNT)	0.46	0.60	0.54	0.72	0.48	0.71

Figura 17*Reducción de sulfato de aluminio***4.2.1. Etapa de floculación con goma de tara****- Calidad de agua cruda**

En la tabla N ° 26 se muestran los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de floculación con goma de tara.

Tabla 26*Datos para el cálculo de ensayo de floculación con goma de tara*

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	20
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tara (%)	0,2
		Dosis optima goma de tara (mg/l)	3

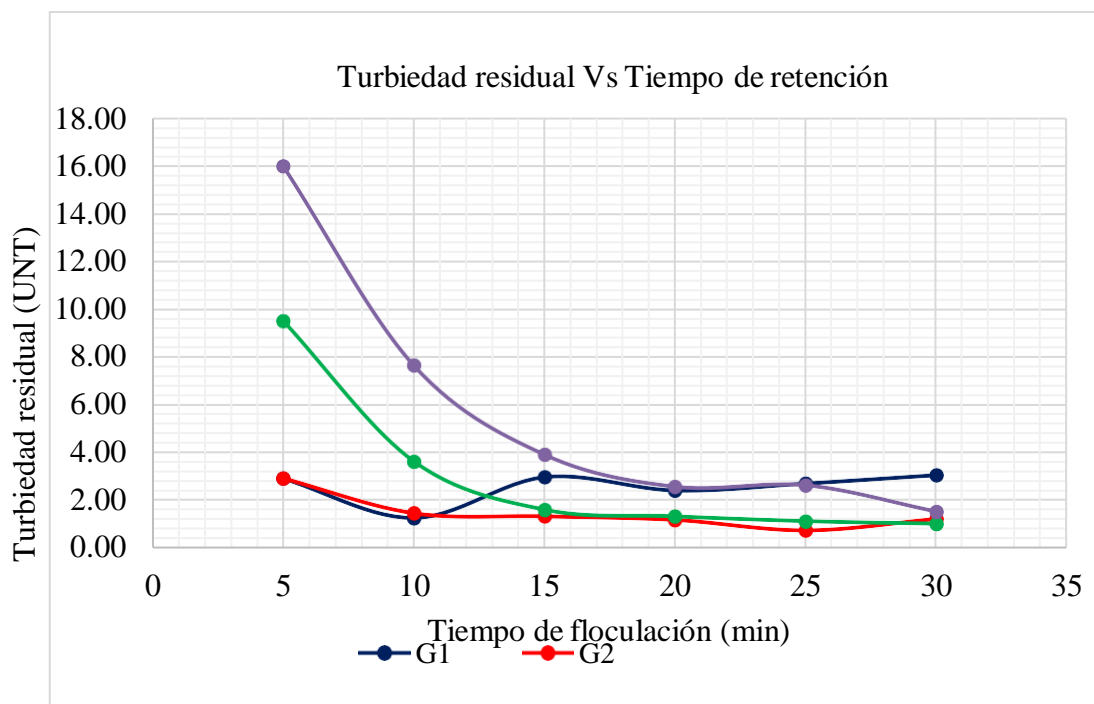
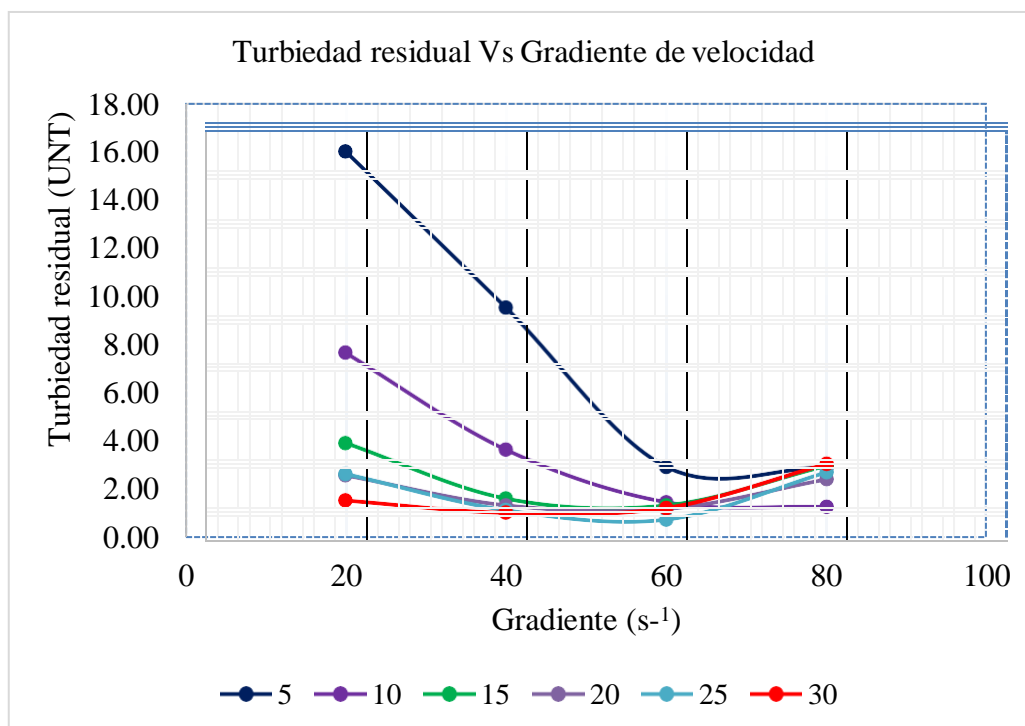
Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

Se ensayó para gradientes de velocidad de 80, 60, 40, y 20 s⁻¹ y tiempos de floculación de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos respectivamente; el resultado se muestra en la Tabla N ° 27 y Figura N ° 18.

Tabla 27

Resultados de ensayo de floculación con goma de tara

Grupos	G (s ⁻¹)	V (rpm)	Tiempo (min)					
			5	10	15	20	25	30
G1	80	55	2,93	1,28	2,99	2,43	2,72	3,07
G2	60	45	2,94	1,48	1,35	1,2	0,76	1,24
G3	40	35	9,53	3,65	1,63	1,35	1,15	1,04
G4	20	20	16	7,66	3,93	2,59	2,65	1,55

Figura 18*Turbiedad residual Vs tiempo de retención***Figura 19***Turbiedad residual vs gradiente de velocidad*

De la Figura N ° 19 y tabla N ° 28, la curva más baja del grafico es $G_2 = 60 \text{ s}^{-1}$ está indicando que el proceso optimiza en un tiempo de floculación total de 25 minutos.

Tiempo total de floculación = 25 minutos

Se observa que la gradiente de velocidad variar en forma uniformemente decreciente. Estamos dentro del rango porque el tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua.

Tabla 28

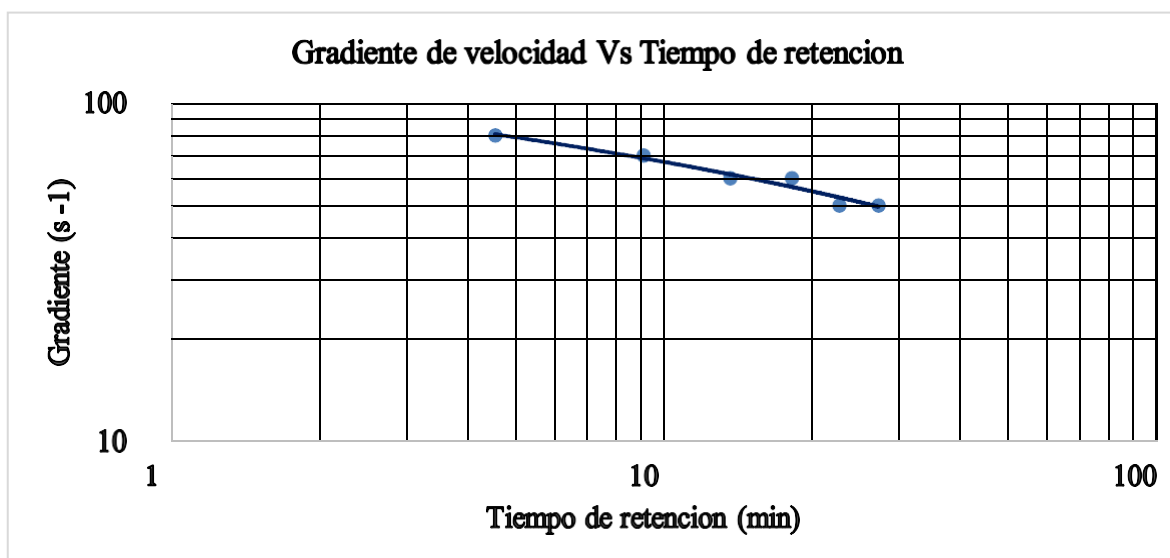
Gradientes de velocidad optima de floculación con goma de tara

Punto	1	2	3	4	5	6
t(min)	5	10	15	20	25	30
G(t-1)	80	70	60	60	50	50

Aplicando mínimos cuadrados a los datos de la tabla 30 se obtiene el grado de ajuste aceptable: $R^2 = 0,92$ (hipótesis específica a: la acción coagulante de la tara incidesignificativamente en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica).

Figura 20

Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención



De la Figura N ° 20 se obtiene las gradientes con que se realizaron la decantación, para un tiempo total de floculación de 25 minutos hallado anteriormente, cuyos resultados se muestran en la Tabla N ° 29.

Tabla 29

Gradientes de decantación con goma de tara

Mezcla lenta		Gradiente
Parcial	Total	(s ⁻¹)
7	7	75
7	14	63
14	20	58

4.2.2. Etapa de decantación con goma de tara

Es el procedimiento físico en el que se separó por gravedad los sólidos provistos de mayor densidad de otro que, al tener menor densidad, ocupó la parte superior de la mezcla.

- Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 30 se muestran los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de decantación con goma de tara.

Tabla 30

Datos para el cálculo de ensayo de decantación con goma de tara

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	20
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tara (%)	0,2
		Dosis optima de tara (mg/l)	3

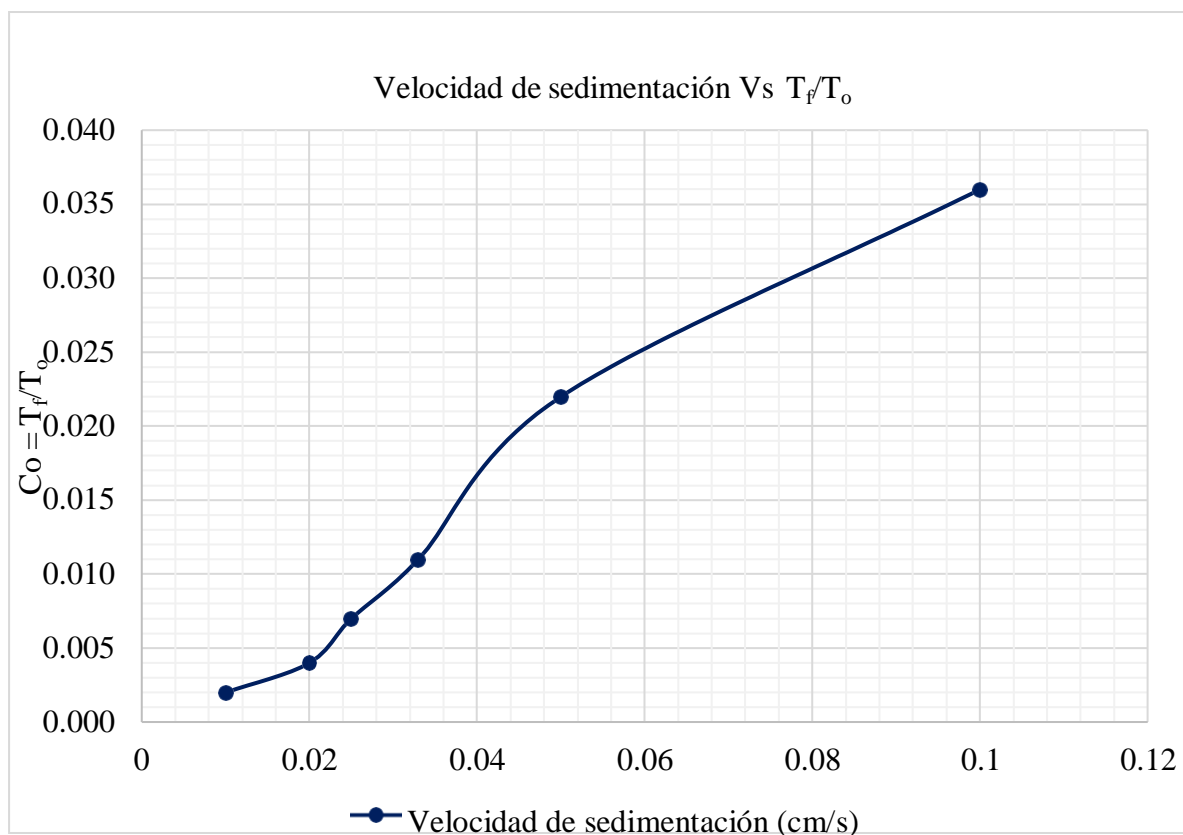
Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

En la tabla N ° 31 y Figura N ° 21 se muestran los resultados de ensayo de la decantación con goma de tara, el cual es un método físico utilizado para la separación de mezclas heterogéneas, usado para separar sólidos de líquidos.

Tabla 31

Resultados de ensayo de decantación con goma de tara

Jarra	Tiempo (min)	Velocidad (cm/s)	T _f (Turbidez) (UNT)	T _f /T _o
1	1	0.100	14,1	0.088
2	2	0.050	8,7	0.054
3	3	0.033	4,2	0.026
4	4	0.025	2,9	0.018
5	5	0.020	1,7	0.011
6	10	0.010	0,9	0.006

Figura 21*Curva de sedimentación*

En la tabla N ° 32 se muestran los resultados de la tasa decantación de sulfato de aluminio con goma de tara, resultando 0,988.

Tabla 32*Selección de la tasa de decantación con goma de tara*

q_s (m/d)	V_s (cm/s)	C_o	$1-(C_o-C_f)$	R_t	T_r	T_f
30	0.035	0.027	0.979	0.9925	158.80	1.20
32	0.037	0.032	0.974	0.9905	158.48	1.52
34	0.039	0.038	0.968	0.9881	158.09	1.91
36	0.042	0.043	0.963	0.9859	157.75	2.25
37	0.043	0.044	0.962	0.9854	157.67	2.33
38	0.044	0.045	0.961	0.9849	157.59	2.41

4.2.3. Comparación de los resultados obtenidos con la goma de tara y los parámetros fisicoquímicos del agua establecidos por las normas vigentes del Perú.

En la tabla N ° 33 se presentan la calidad de agua: según reglamento, crítica y obtenida; y los parámetros físico-químicos del agua con goma de tara respectivamente.

Tabla 33

Parámetros físicos del agua obtenida con goma de tara

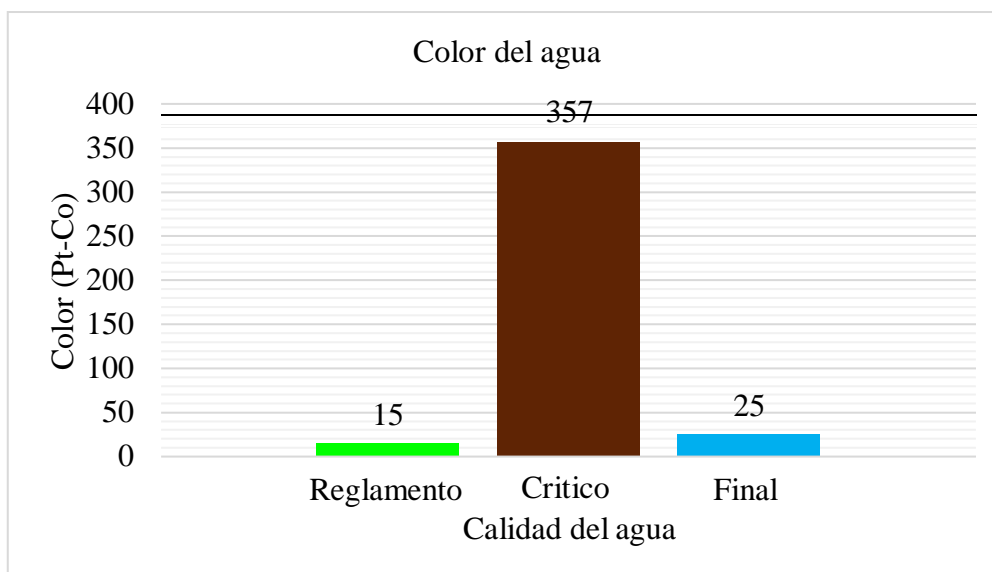
Parámetro	Calidad agua		
	Reglamento	Critica	Obtenida
Color (Pt-Co)	15	357	25
Volumen lodo (mg/l)	0	0.8	4
Turbidez (UNT)	5	160	2.03
pH	6.5 - 8.5	8.5	7.1
Part. no sedimentables (mg/l)	25 - 50	155	9
Conduc. eléctrica (μ S/ml)	1500	636	668

Comparación grafica de las muestras de agua:

A. Color. Los valores que se muestran en la Tabla 33, se obtuvieron usando un colorímetro digital, el cual se utilizó para medir el color a la muestra del agua cruda del rio Ichu. Analizando esta cifra se observan, presenta el valor 357 U Pt-Co. El valor de muestreo final 25 U Pt-Co excede el límite máximo permisible estipulado en el DS No. 031-2010-SA que es de 15 UPt-Co. En consecuencia, desde el punto de vista del color del agua no es apto para consumo humano.

Figura 22

Gráfico de color aparente del agua

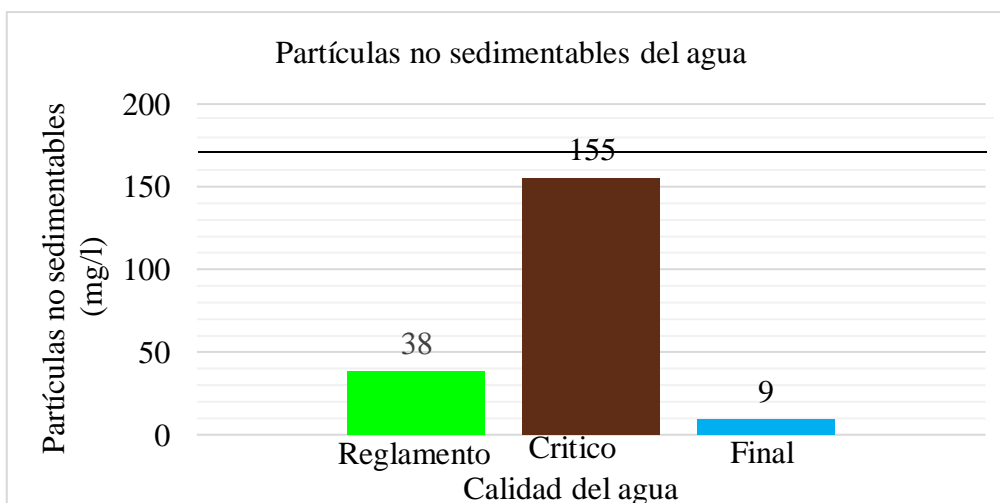


B. Sólidos disueltos y suspendidos. Las concentraciones de partículas no sedimentables (PNS) de la muestra de agua cruda tiene el valor de 155 mg/l.

Los sólidos totales disueltos, de acuerdo al Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA; el LMP deben ser menores a 38 mg/l, resultando 9 mg/l.

Figura 23

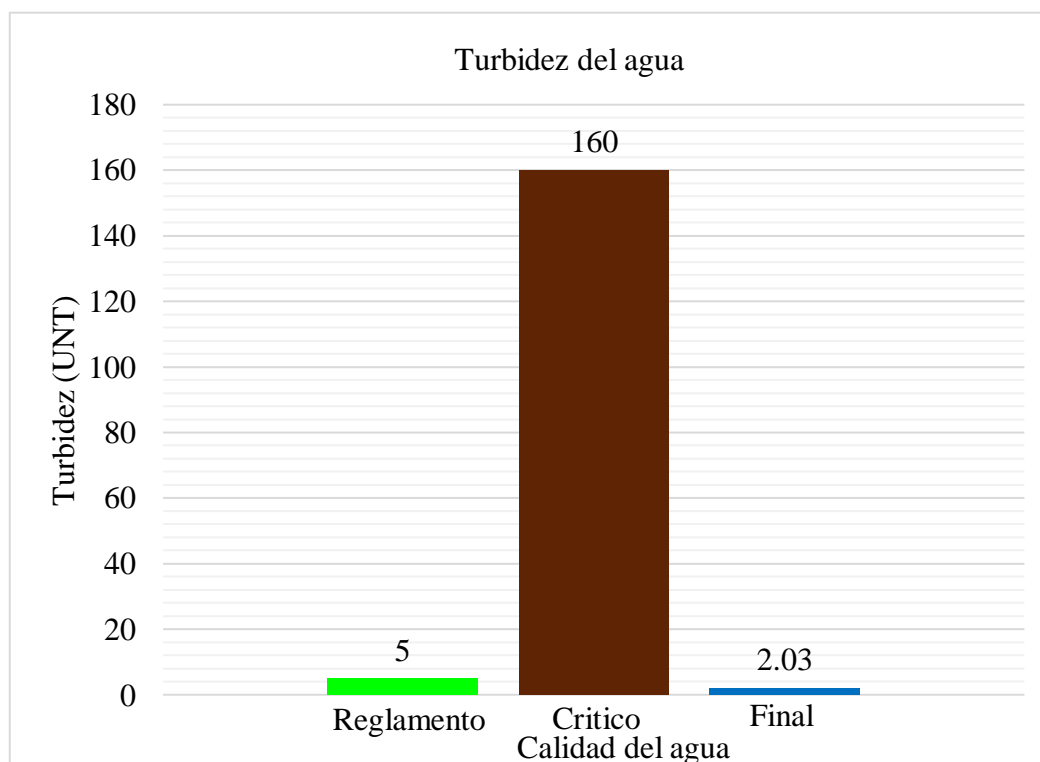
Gráfico de partículas no sedimentables en el agua



C. Turbidez. La claridad del agua es importante, en la obtención de productos destinados al consumo humano como la producción de bebidas y alimentos procesados; y en muchas industrias manufactureras. Los valores que se muestran en la (Tabla 33); se obtuvieron usando un turbidímetro digital, el cual se utilizó para medir la turbidez de la muestra del agua cruda del río Ichu. Analizando estas cifras se observa que presentan el valor de 160 UNT. Exceden el límite máximo permisible recomendado por la OMS y Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano del DS No. 031-2010-SA que es de 5 UNT (Unidades de turbidez nefelométricas). En consecuencia, desde el punto de vista de la turbidez, el agua es apta para consumo humano, 2.03 UNT.

Figura 24

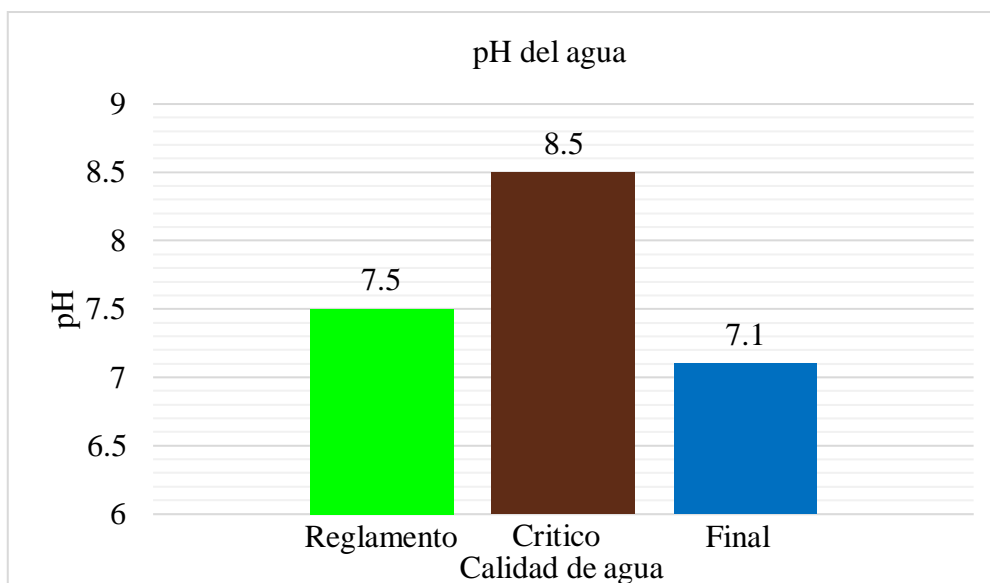
Gráfico de la turbidez del agua



D. pH. En general, el pH de las aguas del río Ichu tiene una tendencia a la neutralidad. Esta dentro del rango requerido en los Límites Máximos Permisibles del Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA.

Figura 25

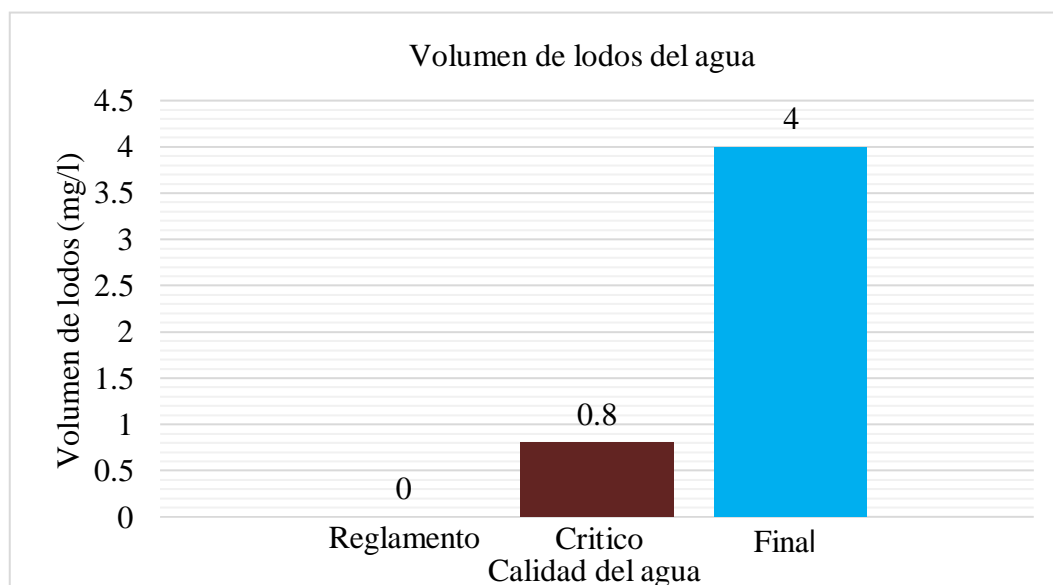
Potencial de hidrogeno del agua



E. Volumen de lodos. Los sólidos sedimentables en la muestra de agua es 0.8 mg/l. Para fines de agua para consumo humano debe ser cero. El contenido de sólidos sedimentables de las aguas del rio Ichu es alto 4 mg/l, dado que supero el valor mínimo de cuantificación por el cono de Imhoff.

Figura 26

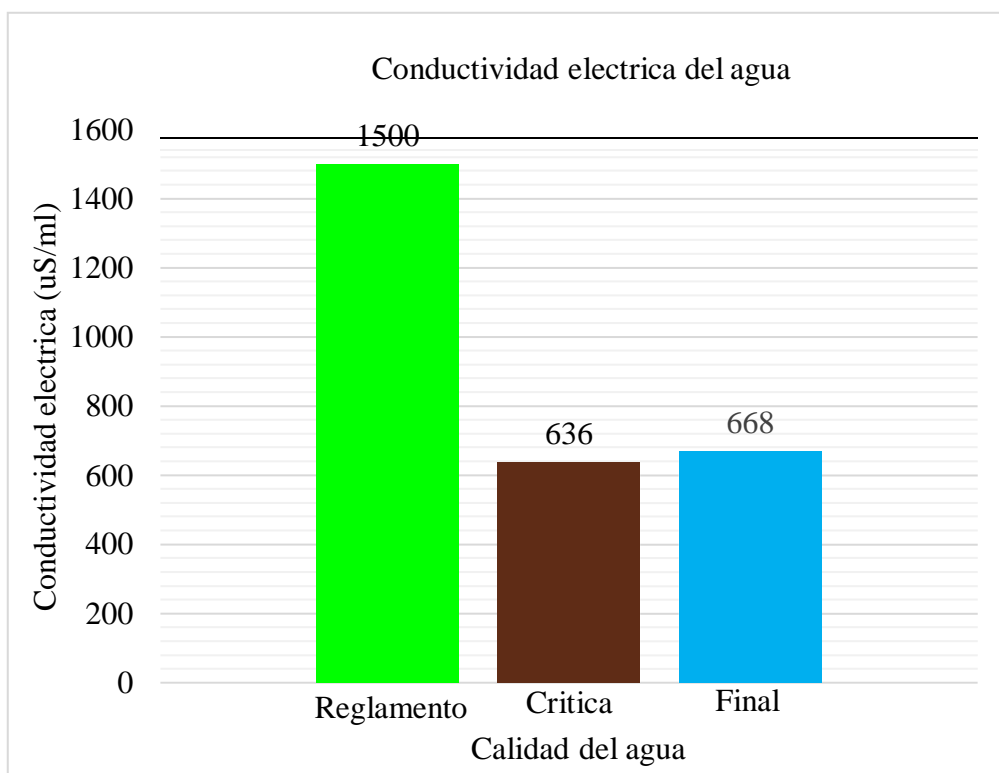
Gráfico de volumen de lodos en el agua



F. Conductividad eléctrica. La presencia de las sales disueltas en el agua está expresada por la CE que generan los iones de las sales disueltas, en tal sentido, dichas mediciones establecen valores del orden de 636 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el agua de muestreo final, la cantidad de conductividad eléctrica es 668 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por debajo de los valores límite del ECA de agua; De acuerdo al Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA; el LMP debe ser menor a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 27

Gráfico de la conductividad eléctrica del agua



4.3. Dosis óptima goma de tuna – reducción sulfato de aluminio

a) Dosis óptima goma de tuna

- **Calidad de agua cruda.** Se muestran en la tabla N ° 34 los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para determinar la dosis óptima de goma de tuna.

Tabla 34*Datos para el cálculo de dosis óptima de goma de tuna*

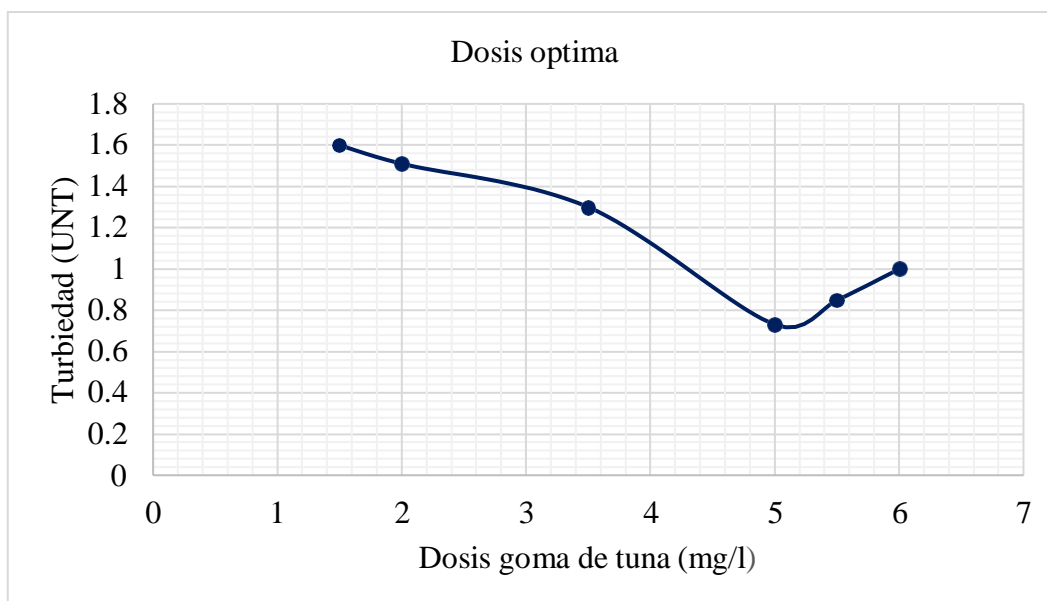
Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	50
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tuna (%)	0,2
		Dosis optima de goma de tuna	Variable

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

El resultado de la dosis óptima de goma de tuna fue de 5 mg/l, tal como se puede observar en la Tabla N ° 35 y Figura N ° 28 respectivamente.

Tabla 35*Dosis óptima de goma de tuna*

Dosis (mg/l)	1.5	2.0	3.5	5.0	5.5	6.0
Turbiedad (UNT)	1.6	1.5	1.3	0.7	0.8	1.0

Figura 28*Dosis óptima de goma de tuna***b) Reducción del sulfato de aluminio****- Calidad de agua cruda**

En la tabla N ° 36 se muestran los datos del agua cruda o agua bruta, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para la determinación de la concentración óptima de sulfato de aluminio con goma de tuna.

Tabla 36*Datos para el cálculo de dosis óptima de sulfato de aluminio con goma de tuna*

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio reducido	Variable
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2,5
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tuna (%)	0,2
		Dosis optima de tuna (mg/l)	5,0

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

En la Tabla N ° 37 y Figura N ° 29 se observa una dosis reducida de sulfato de aluminio con goma de tuna de 28 mg/l, resultando una turbiedad de 0.58 UNT.

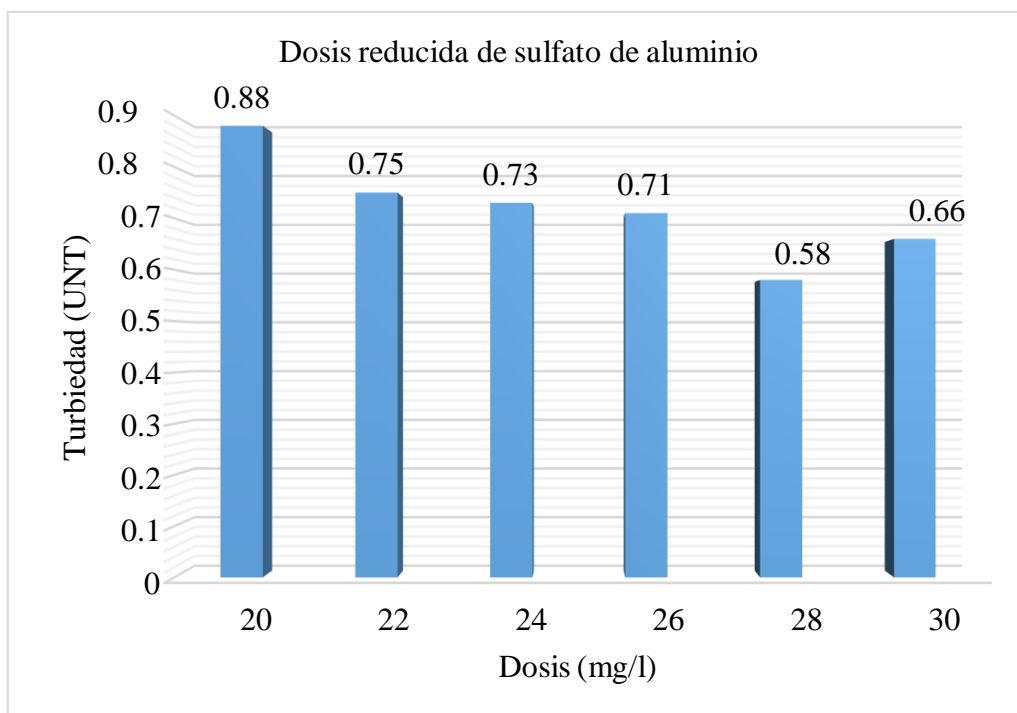
Tabla 37

Reducción de sulfato de aluminio con goma de tuna

Dosis (mg/l)	20	22	24	26	28	30
Turbiedad (UNT)	0.88	0.75	0.73	0.71	0.58	0.66

Figura 29

Reducción de sulfato de aluminio



4.3.1. Etapa de floculación con goma de tuna

- Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 38 se muestran los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de floculación con goma de tuna.

Tabla 38

Datos para el cálculo de ensayo de floculación con goma de tuna

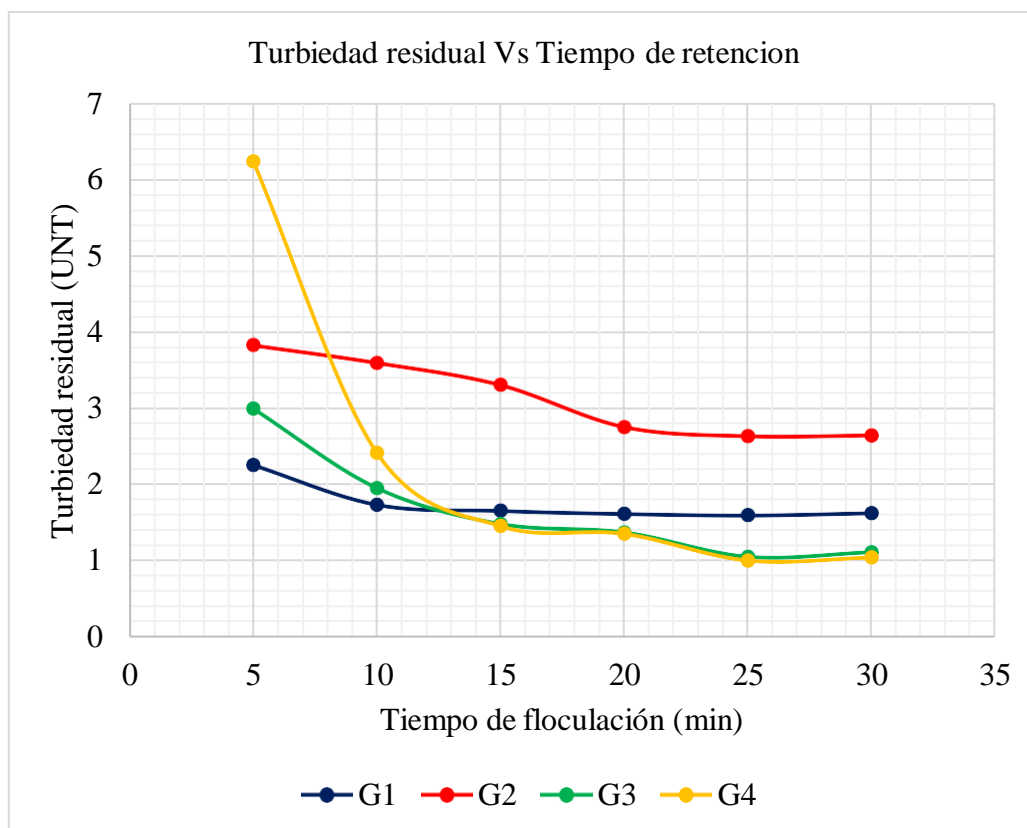
Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	28,0
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2,5
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tuna (%)	0,2
		Dosis optima de goma de tuna (mg/l)	5,0

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

Se ensayo para gradientes de velocidad de 80, 60, 40, y 20 s⁻¹ y tiempos de floculación de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos respectivamente; el resultado se muestra en la Tabla N ° 39 y Figura N ° 30.

Tabla 39*Resultados de ensayo de floculación con goma de tuna*

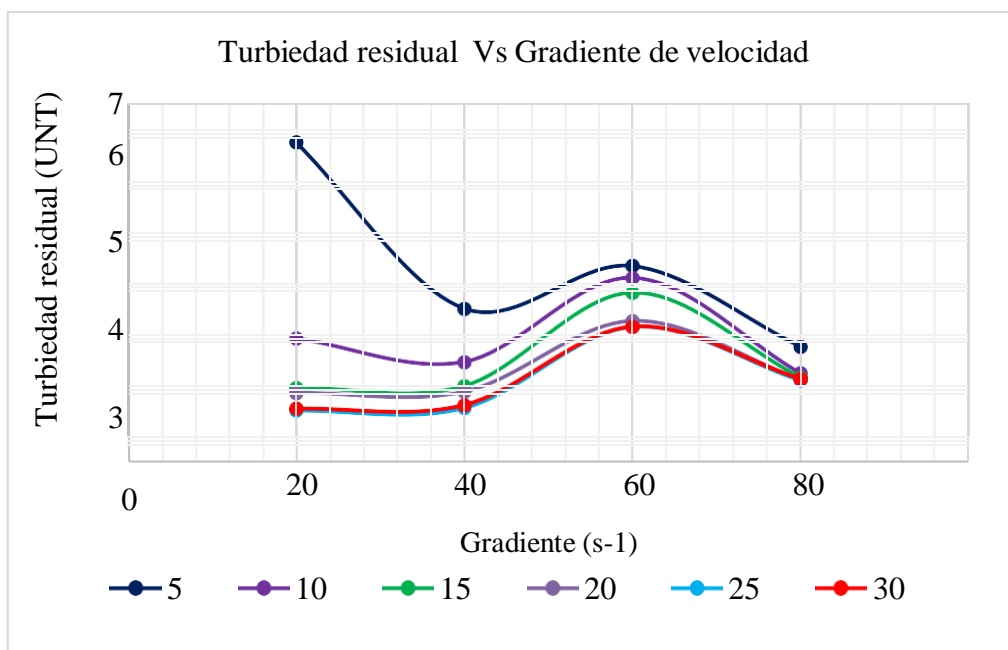
Grupos	G (s ⁻¹)	V (rpm)	Tiempo (min)					
			5	10	15	20	25	30
G1	80	55	2.26	1.74	1.66	1.62	1.6	1.63
G2	60	45	3.83	3.6	3.31	2.76	2.64	2.65
G3	40	35	3.00	1.96	1.49	1.38	1.06	1.12
G4	20	20	6.24	2.42	1.46	1.36	1.01	1.05

Figura 30*Turbiedad residual Vs tiempo de retención*

Se observa que para cada curva de tiempo existe un mínimo valor de turbiedad, el cual nos entrega como abscisa su respectiva gradiente de velocidad, véase la Tabla N ° 40.

Figura 31

Turbiedad residual Vs gradiente de velocidad



De la Figura N ° 31 la curva más baja del grafico es $G_2 = 30 \text{ s}^{-1}$ está indicando que el proceso optimiza en un tiempo de floculación total de 25 minutos.

Tiempo total de floculación = 25 minutos

Se observa que la gradiente de velocidad variar en forma decreciente. Estamos dentro del rango porque el tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua.

Tabla 40

Gradientes de velocidad optima de floculación

t(min)	5	10	15	20	25	30
G(t-1)	80	80	45	40	30	20

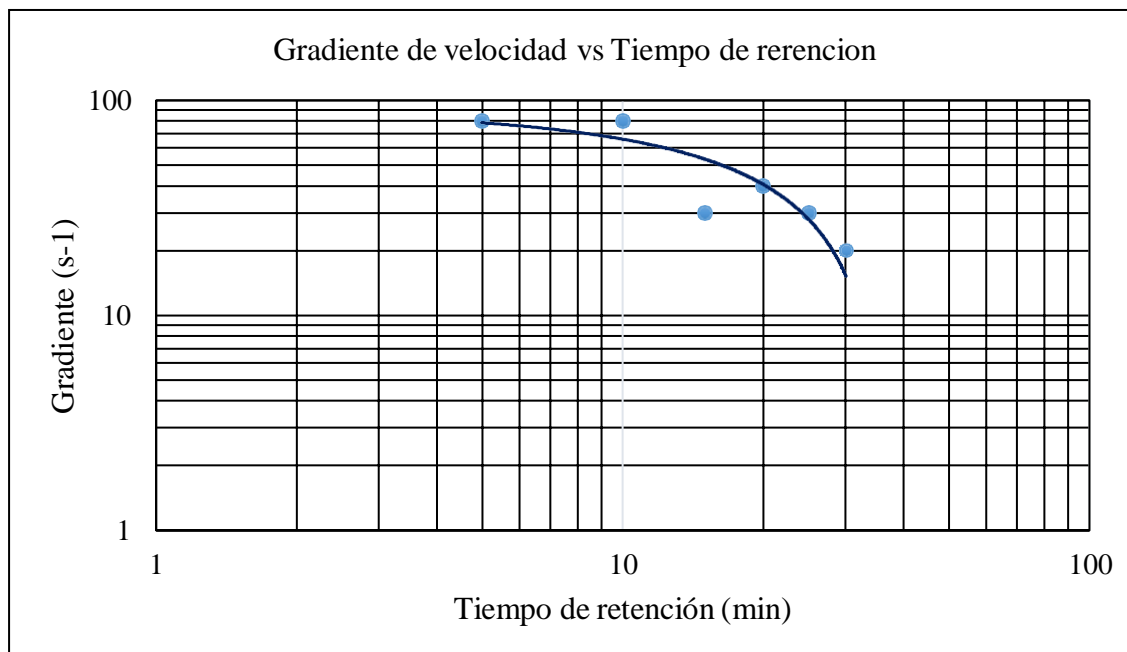
Aplicando mínimos cuadrados de la Tabla 40 se obtiene el grado de ajuste aceptable:

$R^2 = 0,91$ (hipótesis específica b:la acción coagulante de la tuna incide significativamente

en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica).

Figura 32

Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención



De la Figura N ° 32 se obtiene las gradientes con que se realizaron la decantación, para un tiempo total de floculación de 25 minutos hallado anteriormente, cuyos resultados se muestran en la Tabla N ° 41.

Tabla 41

Gradientes de decantación

Mezcla lenta		Gradiente (s ⁻¹)
Parcial	Total	
8	8	70
8	16	50
9	25	30

4.3.2. Etapa de decantación con goma de tuna

Es el procedimiento físico en el que se separó por gravedad los sólidos provistos de mayor densidad de otro que, al tener menor densidad, ocupó la parte superior de la mezcla.

- Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 42 se muestran los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de decantación con goma de tuna.

Tabla 42

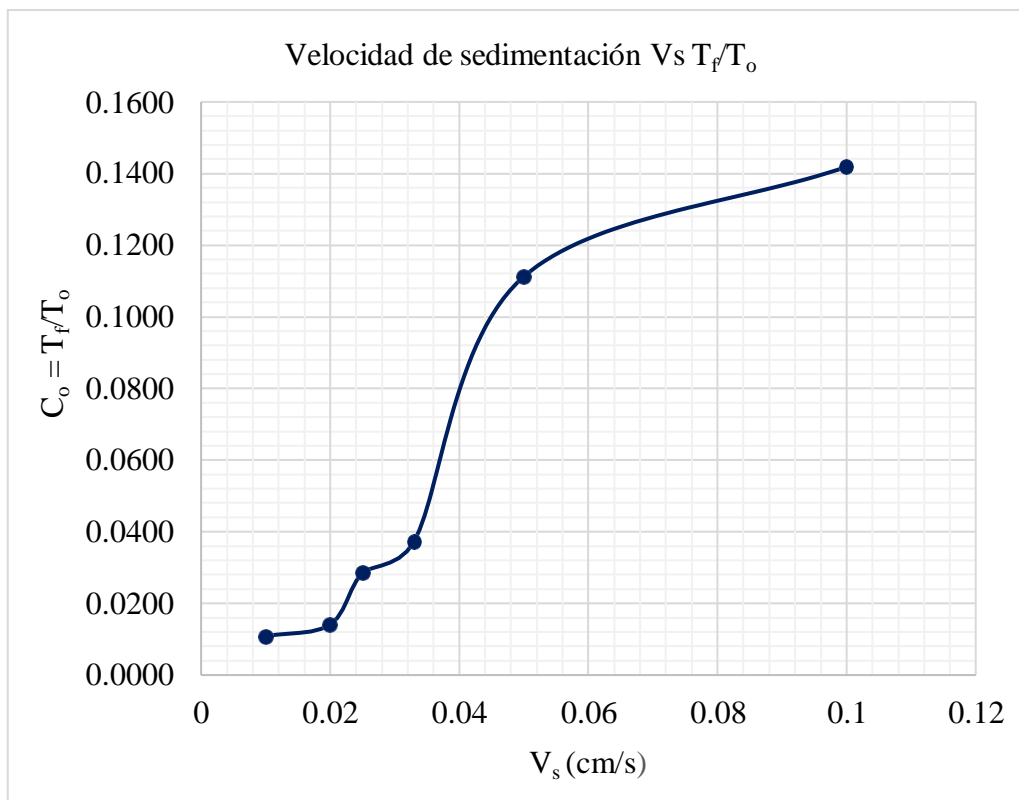
Datos para el cálculo de ensayo de decantación con goma de tuna

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	28,0
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2,5
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de goma de tuna (%)	0,2
		Dosis optima de goma de tuna (mg/l)	5,0
Mezcla rápida		Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm		V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s		Gradiente = 40 s ⁻¹	
		T = 20 min	

En la tabla N ° 43 y Figura N ° 33 se muestran los resultados de ensayo de la decantación con goma de tuna, el cual es un método físico utilizado para la separación de mezclas heterogéneas, usado para separar sólidos de líquidos.

Tabla 43*Resultados de ensayo de decantación con goma de tuna*

Jarra	Tiempo (min)	Velocidad (cm/s)	T _f (Turbidez) (UNT)	T _f /T _o
1	1	0.100	22.7	0.1419
2	2	0.050	17.8	0.1113
3	3	0.033	5.97	0.0373
4	4	0.025	4.57	0.0286
5	5	0.020	2.26	0.0141
6	10	0.010	1.74	0.0109

Figura 33*Curva de sedimentación*

En la tabla N ° 44 se muestran los resultados de la tasa decantación de sulfato de aluminio con goma de tuna, resultando 0,989.

Tabla 44*Selección de la tasa de decantación con goma de tuna*

q_s (m/d)	V_s (cm/s)	C_o	$1-(C_o-C_f)$	R_t	T_r	T_f
28	0.032	0.036	0.974	0.9910	158.56	1.44
29	0.034	0.038	0.972	0.9902	158.43	1.57
30	0.035	0.040	0.970	0.9893	158.29	1.71
31	0.036	0.041	0.965	0.9874	157.98	2.02
32	0.037	0.044	0.962	0.9861	157.78	2.22
33	0.038	0.060	0.946	0.9801	156.81	3.19

4.3.3. Comparación de los resultados obtenidos con la goma de tuna y los parámetros fisicoquímicos del agua establecidos por las normas vigentes del Perú.

En la tabla N ° 45 se presentan la calidad de agua: según reglamento, crítica y obtenida; y los parámetros físico-químicos del agua con goma de tuna respectivamente.

Tabla 45*Parámetros físicos químicos del agua obtenida con goma de tuna*

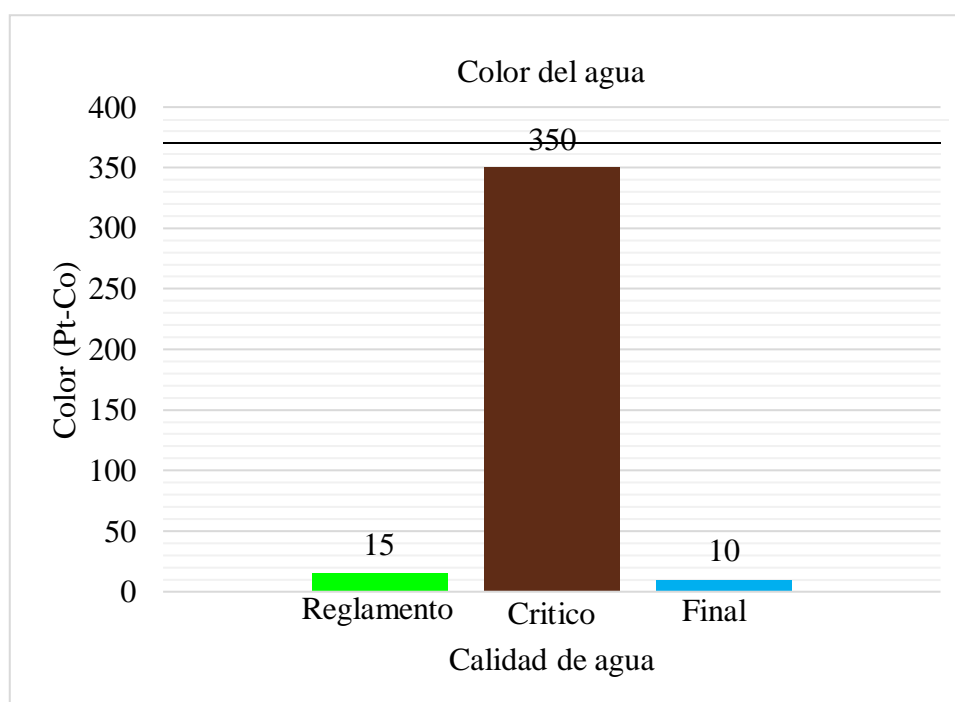
Parámetro	Calidad agua		
	Reglamento	Critica	Obtenida
Color (Pt-Co)	15	350	10.0
Volumen lodo (mg/l)	0	0.6	6.5
Turbidez (UNT)	5	160	1.5
pH	6.5 - 8.5	8.5	7.4
Part. no sedimentables (mg/l)	25 - 50	150	2.4
Conductividad eléctrica (μ S/ml)	1500	630	660.0

Comparación grafica de las muestras de agua:

A. Color. Los valores que se muestran en la Tabla 45, se obtuvieron usando un colorímetro digital, el cual se utilizó para medir el color a la muestra del agua cruda del rio Ichu. Analizando esta cifra, presenta el valor 350 U Pt-Co. El valor final de muestreo 10 U Pt-Co está dentro del límite máximo permisible estipulado en el DS No. 031-2010-SA que es de 15 U Pt-Co. En consecuencia, desde el punto de vista del color del agua es apto para consumo humano.

Figura 34

Gráfico de color aparente en el agua

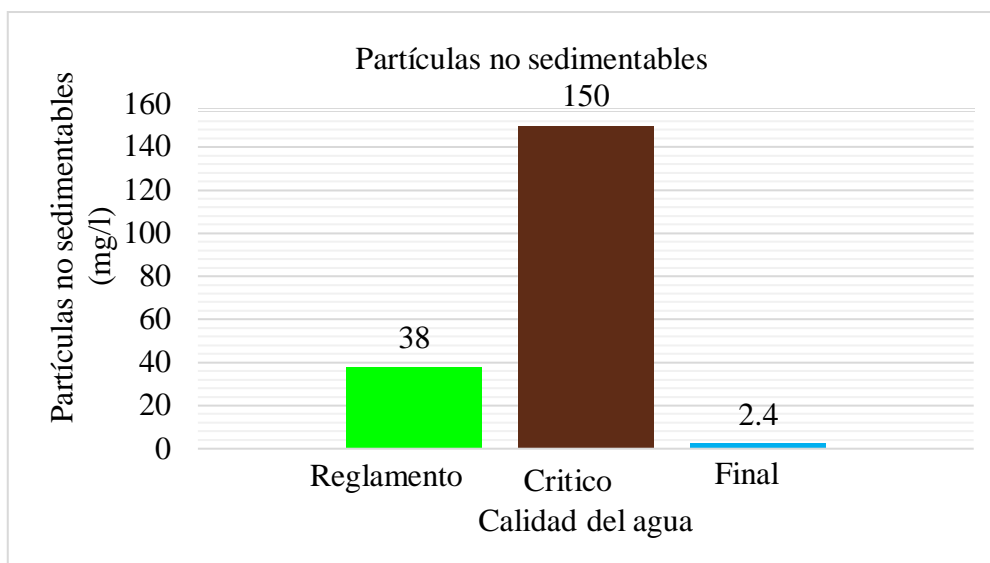


B. Sólidos disueltos y suspendidos. Las concentraciones de partículas no sedimentables (PNS) de la muestra de agua cruda tiene el valor de 150 mg/l.

Los sólidos totales disueltos, de acuerdo al Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA; el LMP deben ser menores a 38 mg/l, de la muestra final fue 2.4 mg/l.

Figura 35

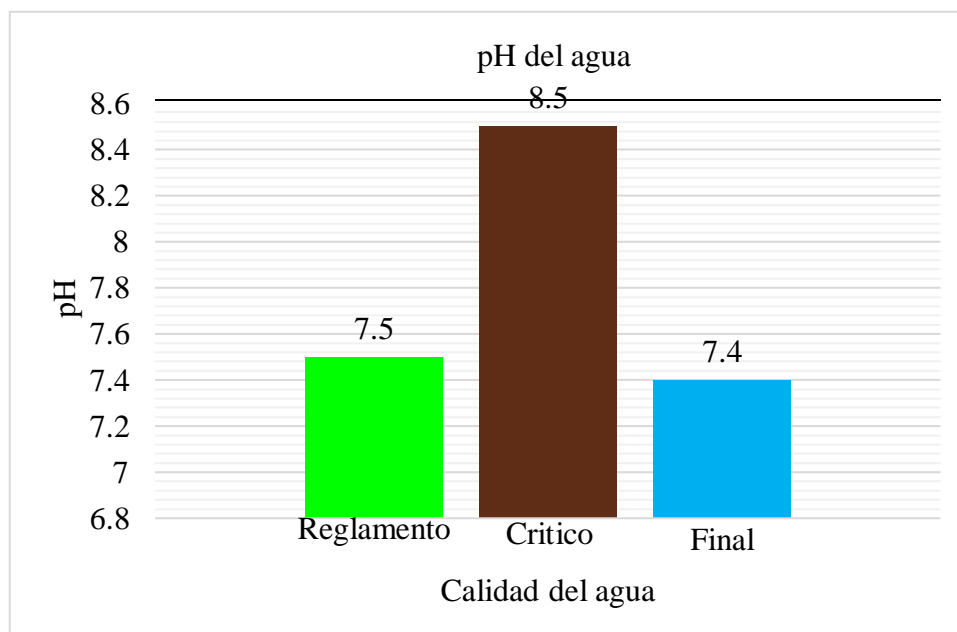
Gráfico de partículas no sedimentables en el agua



pH. En general, el pH de las aguas del rio Ichu tiene una tendencia a la neutralidad. Esta dentro del rango requerido en los Límites Máximos Permisibles del Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA y la OMS.

Figura 36

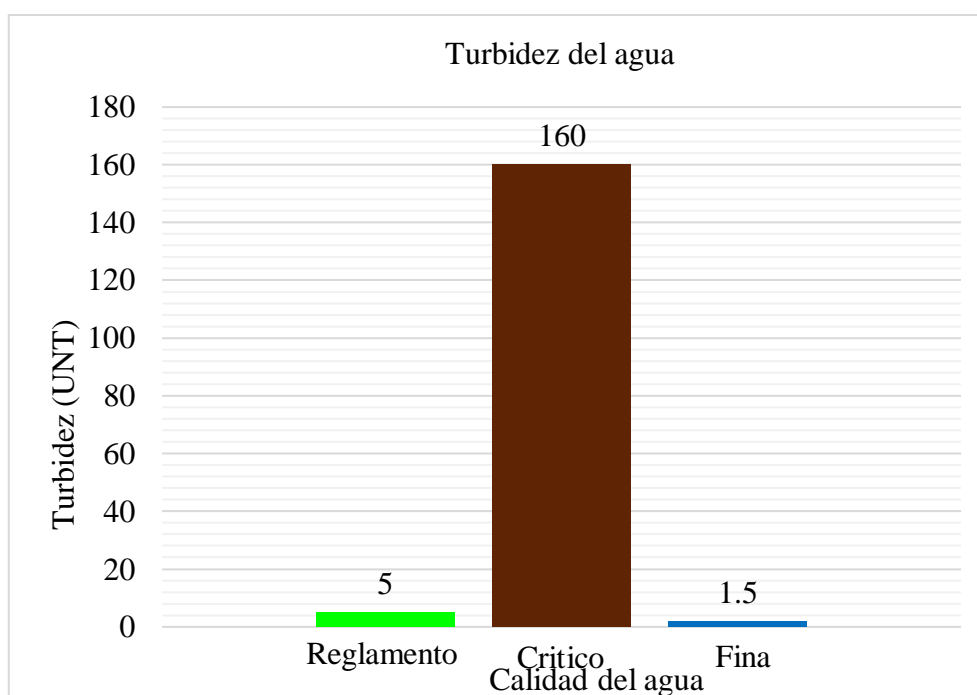
Potencial de hidrogeno en la muestra de agua



C. Turbidez. La claridad del agua es importante, en la obtención de productos destinados al consumo humano; y en muchas industrias manufactureras. Los valores que se muestran en la (Tabla 45); se obtuvieron usando un turbidímetro digital, el cual se utilizó para medir la turbidez de la muestra del agua cruda del río Ichu. Analizando estas cifras se observa que presenta el valor de 160 UNT. El límite máximo permisible recomendado por la OMS y Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano del DS No. 031-2010-SA es de 5 UNT (Unidades de turbidez nefelométricas). En consecuencia, desde el punto de vista de la turbidez, el agua es apta para consumo humano 1.5 UNT.

Figura 37

Gráfico de la turbidez del agua

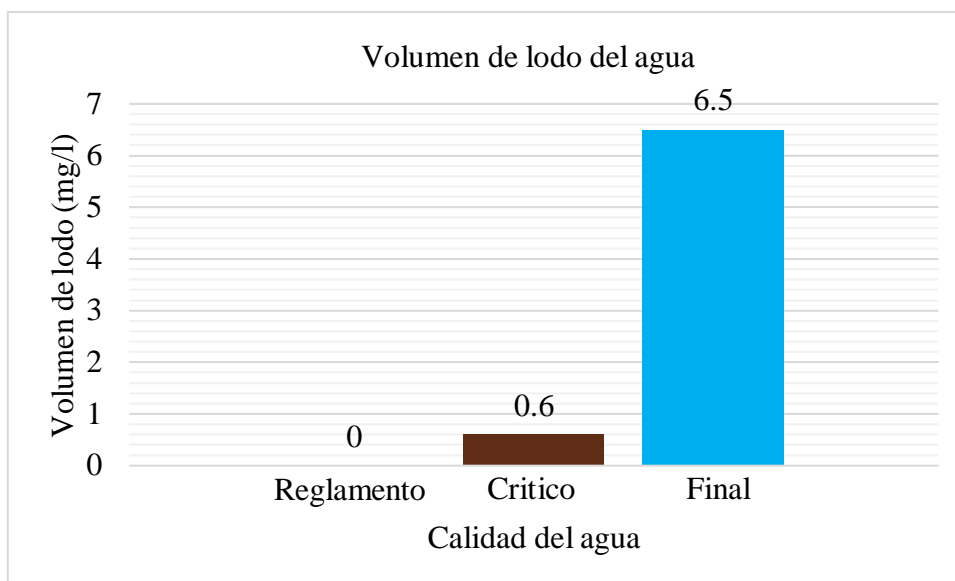


D. Volumen de lodos. Los sólidos sedimentables en la muestra de agua es 0.6 mg/l. Para fines de agua para consumo humano debe ser cero.

El contenido de sólidos sedimentables de las aguas del río Ichu es alto 6.5 mg/l, dado que supero el valor mínimo de cuantificación con el cono de Imhoff.

Figura 38

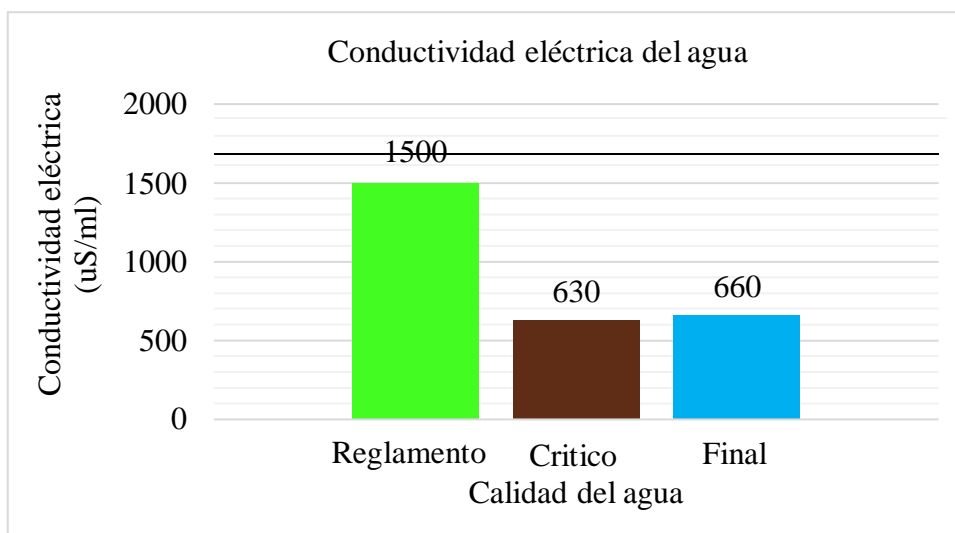
Gráfico de volumen de lodos en el agua



E. Conductividad eléctrica. La presencia de las sales disueltas en el agua está expresada por la CE que generan los iones de las sales disueltas, en tal sentido, dichas mediciones establecen valores del orden de 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el muestreo del agua, la cantidad de conductividad eléctrica se encuentra por debajo de los valores límite del ECA de agua; el LMP debe ser menor a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 39

Gráfico de la conductividad eléctrica del agua



4.4. Dosis óptima de almidón de mashua – reducción sulfato de aluminio

a) Dosis óptima de almidón de mashua

- *Calidad de agua cruda.* Se muestran en la tabla N ° 46 los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para determinar la dosis óptima de almidón de mashua.

Tabla 46

Datos para el cálculo de dosis óptima de almidón de mashua

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	50,0
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2,0
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de almidón de mashua (%)	0,2
		Dosis optima de almidón de mashua	-

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

El resultado de la dosis óptima de almidón de mashua fue de 20 mg/l, tal como se puede observar en la Tabla N ° 47 y Figura N ° 40 respectivamente.

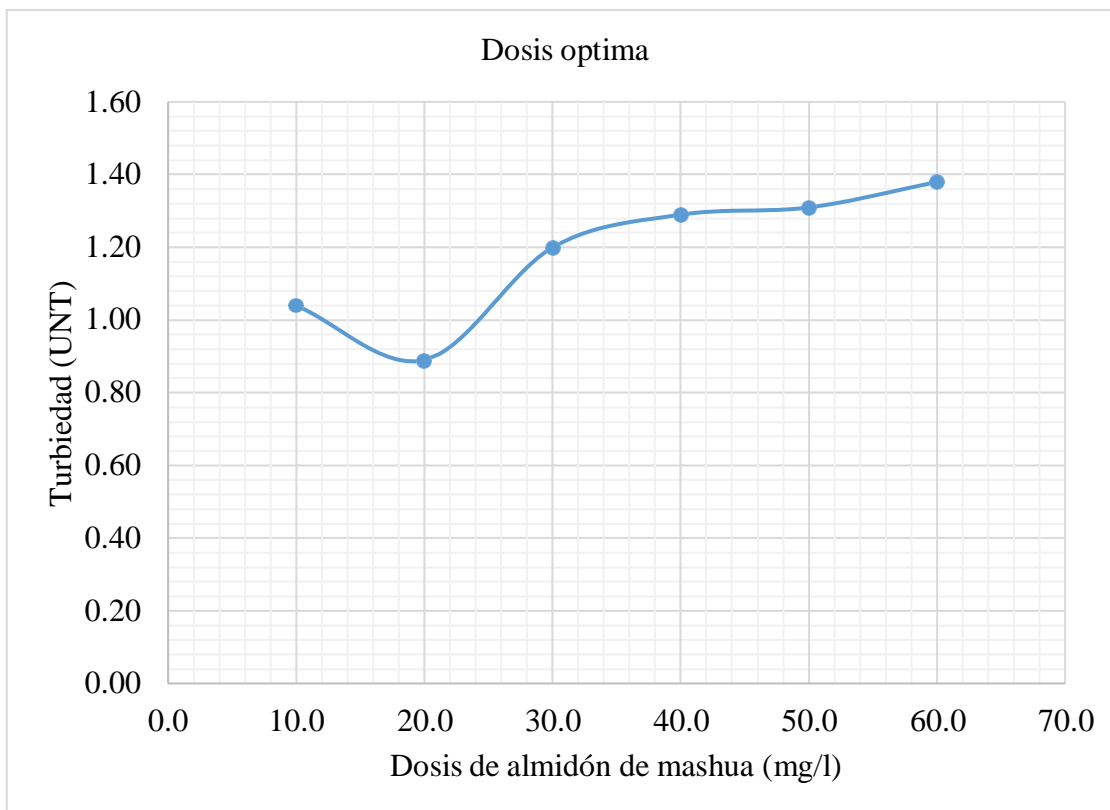
Tabla 47

Dosis óptima de almidón de mashua

Dosis (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Turbiedad (UNT)	1.04	0.89	1.2	1.29	1.31	1.38

Figura 40

Dosis óptima de almidón de mashua



b) Reducción del sulfato de aluminio

- Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 48 se muestran los datos del agua cruda o agua bruta, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla y tiempo de decantación; para la determinación de la concentración óptima de sulfato de aluminio con almidón de mashua.

Tabla 48

Datos para la de dosis óptima de sulfato de aluminio con almidón de mashua

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio reducido	Variable
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2,5
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de almidón de mashua (%)	0,2
		Dosis optima de almidón de mashua (mg/l)	20,0

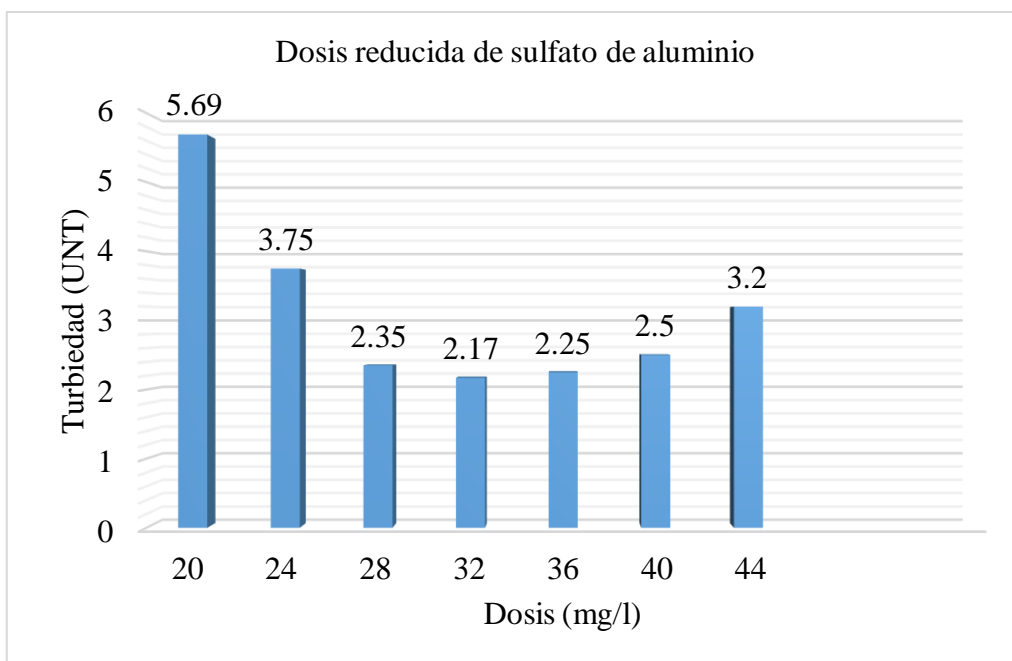
Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

En la Tabla N ° 49 y Figura N ° 41 se observa una dosis reducida de sulfato de aluminio con almidón de mashua de 32 mg/l, resultando una turbiedad de 2.17 UNT.

Tabla 49

Reducción de sulfato de aluminio con almidón de mashua

Dosis (mg/l)	20	24	28	32	36	40	44
Turbiedad (UNT)	5.69	3.75	2.35	2.17	2.25	2.5	3.2

Figura 41*Reducción de sulfato de aluminio***4.4.1. Etapa de floculación con almidón de mashua****- Calidad de agua cruda**

En la tabla N ° 50 se muestran los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de floculación con almidón de mashua.

Tabla 50*Datos para el cálculo de ensayo de floculación con almidón de mashua*

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio (mg/l)	32,0
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2,5
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de almidón de mashua (%)	0,2
		Dosis optima de almidón de mashua (mg/l)	20,0

Mezcla rápida	Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm	V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s	Gradiente = 40 s ⁻¹	
	T = 20 min	

Se ensayo para gradientes de velocidad de 80, 60, 40, y 20 s⁻¹ y tiempos de floculación de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos respectivamente; el resultado se muestra en la Tabla N ° 51 y Figura N ° 42.

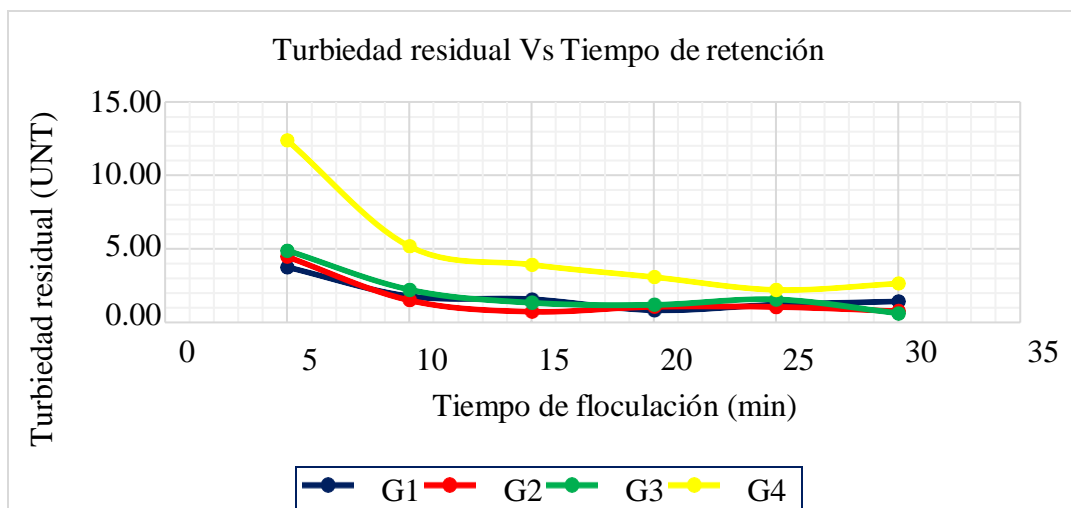
Tabla 51

Resultados de ensayo de floculación con almidón de mashua

Grupos	G (s ⁻¹)	V (rpm)	Tiempo (min.)					
			5	10	15	20	25	30
G1	80	55	3.79	1.81	1.61	0.86	1.24	1.46
G2	60	45	4.49	1.53	0.76	1.1	1.08	0.80
G3	40	35	4.92	2.26	1.36	1.23	1.6	0.65
G4	20	20	12.4	5.2	3.95	3.11	2.24	2.67

Figura 42

Turbiedad residual Vs tiempo de retención



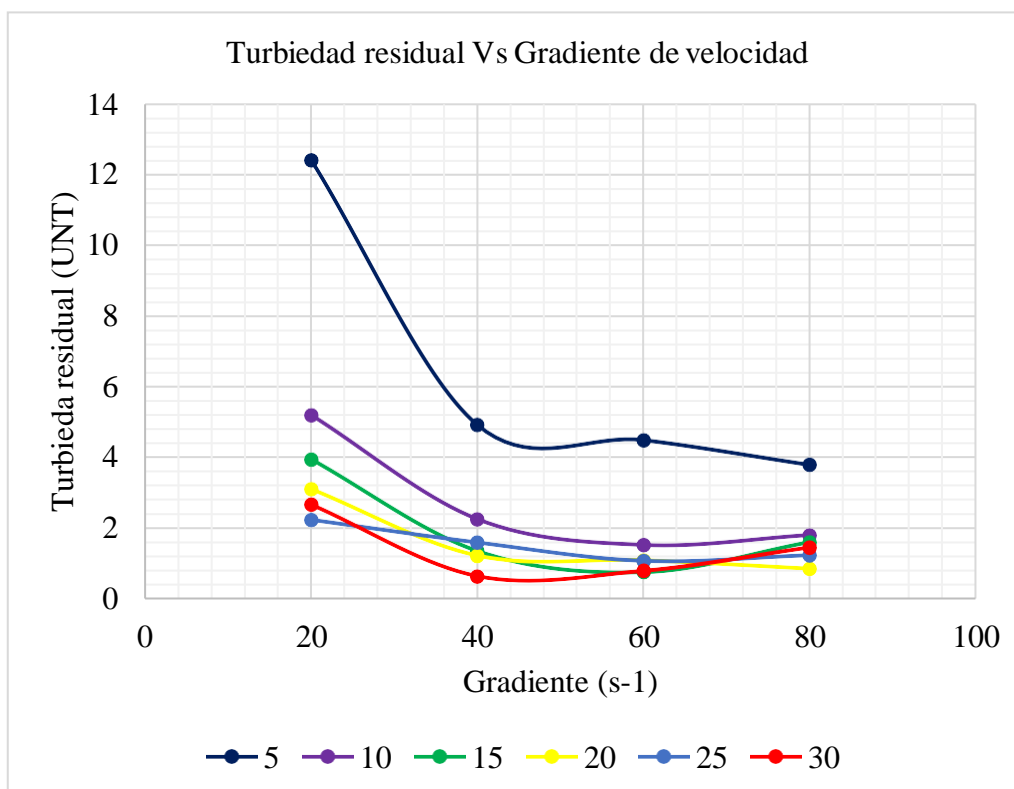
De la Figura N ° 42 la curva más baja del grafico es $G_2 = 60 \text{ s}^{-1}$ está indicando que el proceso optimiza en un tiempo de floculación total de 25 minutos.

Tiempo total de floculación = 25 minutos

Se observa que la gradiente de velocidad variar en forma decreciente. Estamos dentro del rango porque el tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua.

Figura 43

Turbiedad residual Vs gradiente de velocidad



Se observa que para cada curva de tiempo existe un mínimo valor de turbiedad, el cual nos entrega como abscisa su respectiva gradiente de velocidad, véase la Tabla N ° 52.

Tabla 52

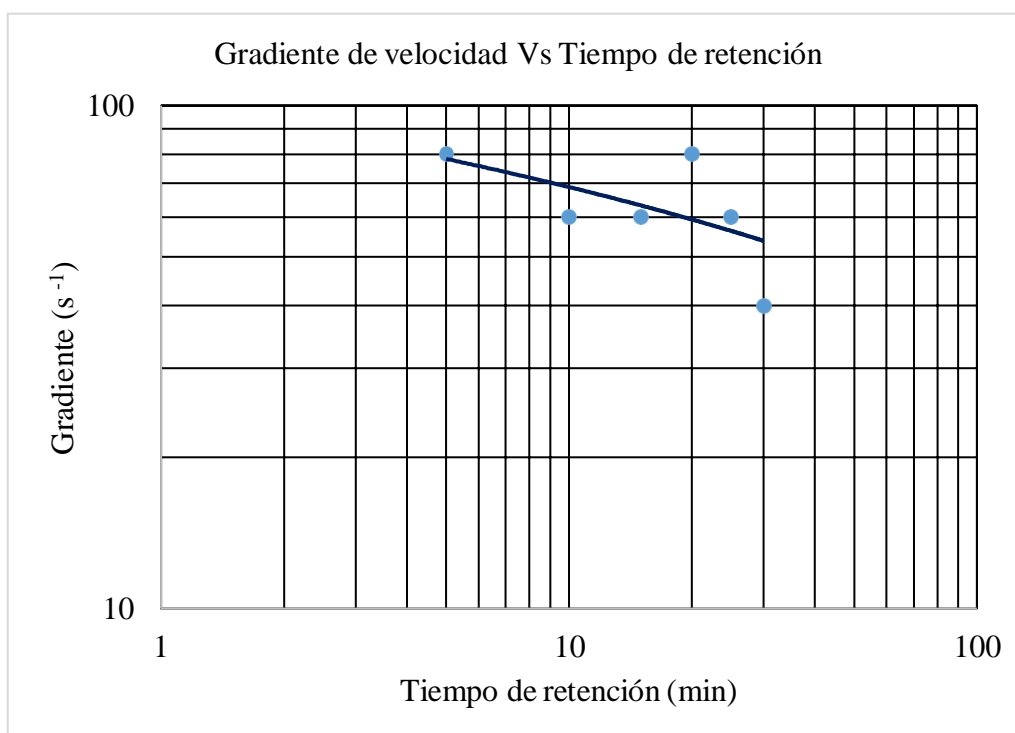
Gradientes de velocidad optima de floculación con almidón de mashua

Punto	1	2	3	4	5	6
t(min)	5	10	15	20	25	30
G^(t-1)	80	80	70	70	60	60

Aplicando mínimos cuadrados a los datos de la Tabla 52 se obtiene el grado de ajuste aceptable: $R^2 = 0,91$ (hipótesis específica c: La acción coagulante de la mashua incide significativamente en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica).

Figura 44

Gradiente de velocidad Vs tiempo de retención



De la Figura N ° 44 se obtiene las gradientes con que se realizaron la decantación, para un tiempo total de floculación de 25 minutos hallado anteriormente, cuyos resultados se muestran en la Tabla N ° 53.

Tabla 53*Gradientes de decantación*

Mezcla lenta		Gradiente
Parcial	Total	(s ⁻¹)
8	8	72
8	16	63
9	25	57

4.4.2. Etapa de decantación con almidón de mashua

Es el procedimiento físico en el que se separó por gravedad los sólidos provistos de mayor densidad de otro que, al tener menor densidad, ocupó la parte superior de la mezcla.

- Calidad de agua cruda

En la tabla N ° 54 se muestran los datos del agua cruda, aquella que no ha recibido ningún tratamiento de la muestra de agua, velocidades de mezcla, tiempo de decantación, dosis y concentración del sulfato de aluminio para el ensayo de decantación con almidón de mashua.

Tabla 54*Datos para el cálculo de ensayo de decantación con almidón mashua*

Muestra		Coagulantes	
Turbiedad (UNT)	160	Dosis de sulfato de aluminio reducido (mg/l)	32,0
pH	8,5	Concentración de sulfato de aluminio (%)	2,5
Alcalinidad (mg/l)	120	Concentración de almidón de mashua (%)	0,2
		Dosis óptima de almidón de mashua (mg/l)	20,0
Mezcla rápida		Mezcla lenta	Decantación
V = 300 rpm		V = 30 rpm	T = 10 min.
T = 10 s		Gradiente = 40 s ⁻¹	
		T = 20 min	

En la tabla N ° 55 y Figura N ° 45 se muestran los resultados de ensayo de la decantación con goma de tuna, el cual es un método físico utilizado para la separación de mezclas heterogéneas, usado para separar sólidos de líquidos.

Figura 45

Curva de sedimentación

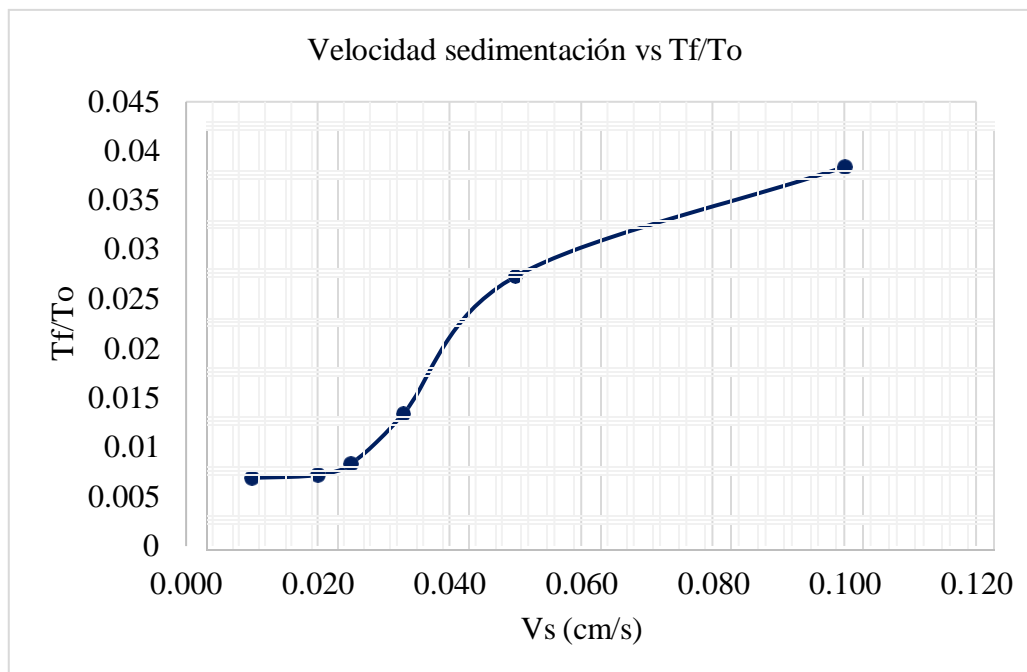


Tabla 55

Resultados de ensayo de decantación con almidón de mashua

Jarra	Tiempo (min)	Velocidad (cm/s)	T _f (Turbidez) (UNT)	T _f /T _o
1	1	0.100	6.14	0.0384
2	2	0.050	4.37	0.0273
3	3	0.033	2.14	0.0134
4	4	0.025	1.33	0.0083
5	5	0.020	1.15	0.0072
6	10	0.010	1.10	0.0069

En la tabla N ° 56 se muestran los resultados de la tasa decantación de sulfato de aluminio con almidón de mashua resultando 0,987.

Tabla 56

Selección de la tasa de decantación con almidón de mashua

q_s (m/d)	V_s (cm/s)	C_o	$1-(C_o-C_f)$	R_t	T_r	T_f
60	0.069	0.034	0.973	0.9884	158.15	1.85
64	0.074	0.034	0.973	0.9883	158.13	1.87
68	0.079	0.035	0.972	0.9878	158.04	1.96
72	0.083	0.037	0.970	0.9868	157.89	2.11
76	0.088	0.037	0.970	0.9867	157.87	2.13
80	0.093	0.038	0.969	0.9862	157.79	2.21
84	0.097	0.039	0.968	0.9856	157.70	2.30

4.4.3. Comparación de los resultados obtenidos con el almidón de mashua y los parámetros fisicoquímicos del agua establecidos por las normas vigentes del Perú.

En la tabla N ° 57 se presentan la calidad de agua: según reglamento, crítica y obtenida; y los parámetros físico-químicos del agua con goma de tara respectivamente.

Tabla 57

Parámetros físicos químicos del agua obtenida con el almidón de mashua

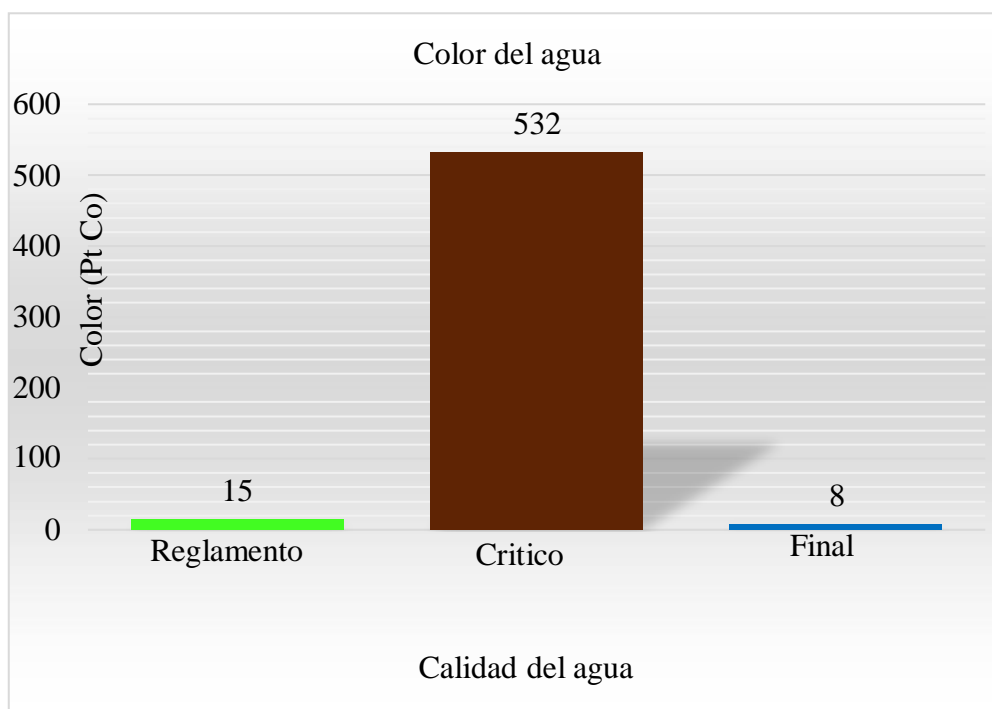
Parámetro	Calidad agua		
	Reglamento	Critica	Obtenida
Color (Pt-Co)	15	532	8.0
Volumen lodo (mg/l)	0	0.4	3.2
Turbidez (UNT)	5	160	1.1
pH	6.5 - 8.5	7.5	6.7
Partículas no sedimentables (mg/l)	25 - 50	140	2.0
Conductividad eléctrica (μ S/ml)	1500	395	220.0

Comparación grafica de las muestras de agua:

A. Color. Los valores que se muestran en la Tabla 57, se obtuvieron usando un colorímetro digital, el cual se utilizó para medir el color a la muestra del agua cruda del rio Ichu. Analizando esta cifra, presenta el valor 532 U Pt-Co. El valor del muestreo final 8 U Pt-Co está dentro del límite máximo permisible estipulado en el DS No. 031-2010-SA que es de 15 UPt-Co. En consecuencia, desde el punto de vista del color del agua es apto para consumo humano.

Figura 46

Gráfico de color aparente en el agua

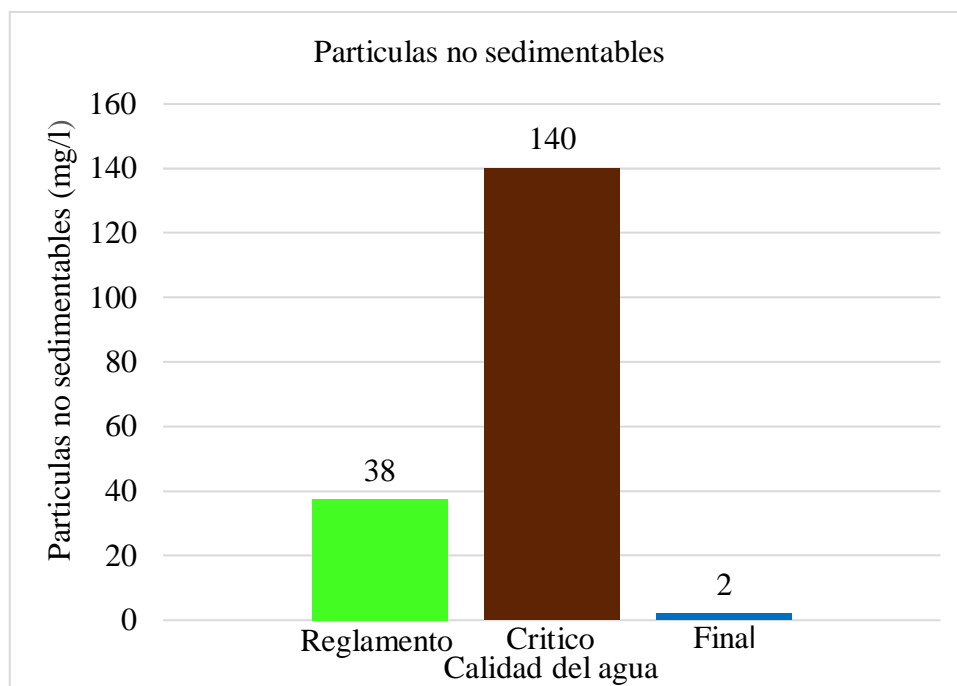


B. Sólidos disueltos y suspendidos. Las concentraciones de partículas no sedimentables (PNS) de la muestra de agua cruda tiene el valor de 140 mg/l.

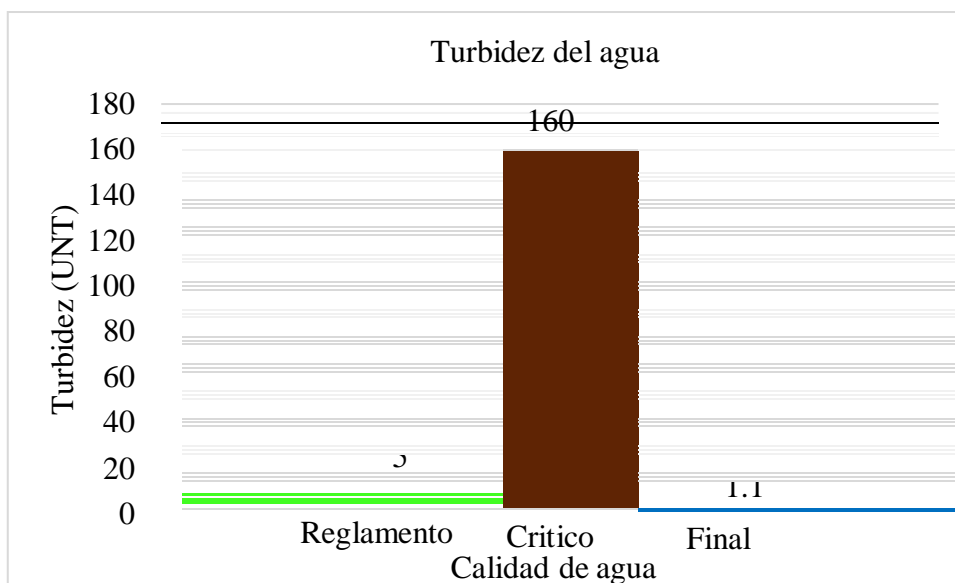
Los sólidos totales disueltos, de acuerdo al Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA; el LMP deben ser menores a 38 mg/l, en la muestra final resultado 2 mg/l.

Figura 47

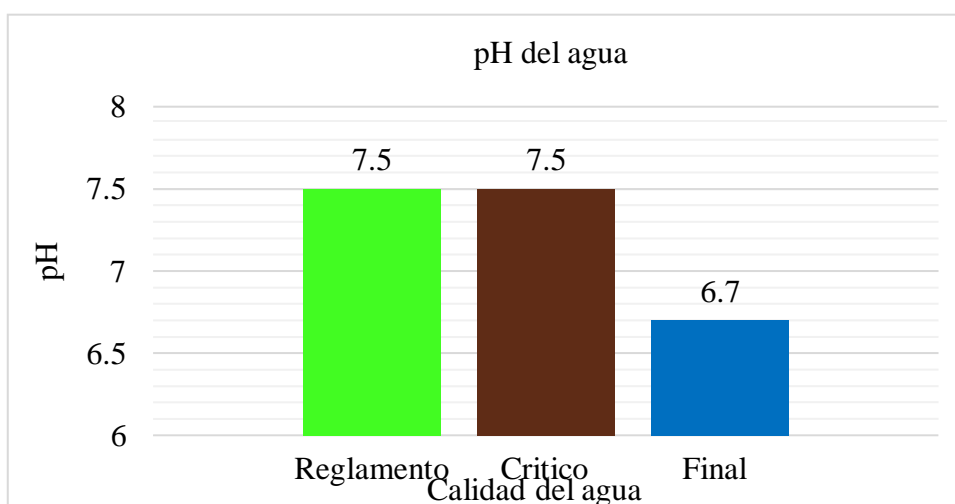
Gráfico de partículas no sedimentables en el agua



C. Turbidez. La claridad del agua es importante, en la obtención de productos destinados al consumo humano; y en muchas industrias manufactureras. Los valores que se muestran en la (Tabla 57); se obtuvieron usando un turbidímetro digital, el cual se utilizó para medir la turbidez de la muestra del agua cruda del río Ichu. Analizando estas cifras se observa que presentan el valor de 160 UNT. El resultado final 1.1 UNT está dentro del límite máximo permisible recomendado por la OMS y Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano del DS No. 031-2010-SA que es de 5 UNT (Unidades de turbidez nefelométricas). En consecuencia, desde el punto de vista de la turbidez, el agua es apta para consumo humano.

Figura 48*Gráfico de la turbidez del agua*

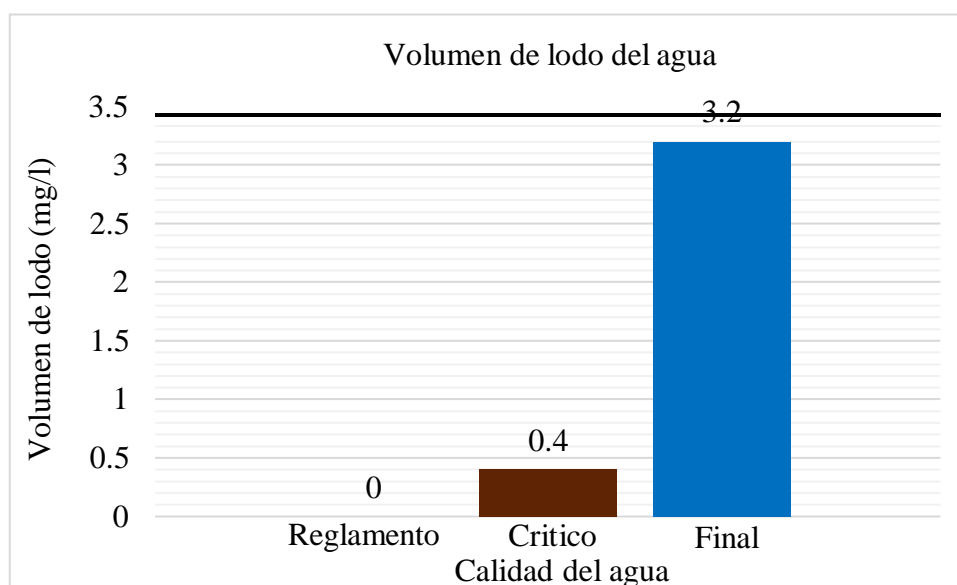
D. pH. En general, el pH de las aguas del rio Ichu tiene una tendencia a la neutralidad. Esta dentro del rango requerido en los Límites Máximos Permisibles del Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA y la OMS.

Figura 49*Potencial de hidrogeno del agua*

D. Volumen de lodos. Los sólidos sedimentables en la muestra de agua es 0.4 mg/l. Para fines de agua para consumo humano debe ser cero. El contenido de sólidos sedimentables de las aguas del río Ichu es alto 3.2 mg/l, dado que supero el valor mínimo de cuantificación por el cono de Imhoff.

Figura 50

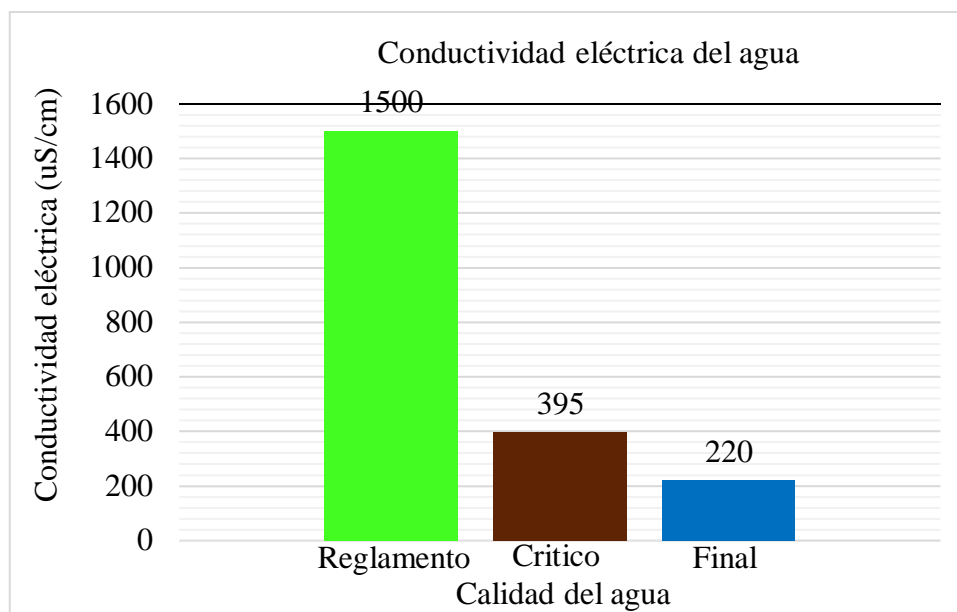
Gráfico de volumen de lodos en el agua



F. Conductividad eléctrica. La presencia de las sales disueltas en el agua está expresada por la CE que generan los iones de las sales disueltas, en tal sentido, dichas mediciones establecen valores del orden de 395 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la muestra del agua, la conductividad eléctrica es 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se encuentran por debajo de los valores límite del ECA de agua; De acuerdo al Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS No 031-2010-SA; el LMP debe ser menor a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 51

Gráfico de la conductividad eléctrica del agua



V. DISCUSION DE RESULTADOS

Las características del agua como color, volumen de lodos, turbidez, pH, partículas no sedimentables y la conductividad eléctrica son importantes para la aceptabilidad del agua, por ello dichos parámetros se utilizaron para el control de la floculación y en las pruebas de jarra.

5.1. Parámetros físicos y químicos del agua:

Ojeda (2012) realizó una serie de ensayo de jarras únicamente con el almidón de mashua, los resultados no fueron significativos, obteniéndose una turbiedad de 5.7 UNT, un color de 40 U Pt-Co y un pH de 7.92.

Valeriano y Matos (2019) utilizó la goma de tara como ayudante de coagulación ayudó a reducir en 40% la dosis utilizada de sulfato de aluminio para la muestra de 30 UNT, también redujo la turbidez residual de 0.58 UNT a 0.32 UNT.

Lozano (2018) en las aguas del río Chonta de Cajamarca; evaluó la eficiencia del mucílago extraído de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como agente clarificante. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, con agua turbia con valores de turbidez iniciales de 55 UNT. Los estudios realizados indicaron que el mucílago extraído de la Tuna remueve la turbidez a un 82% al tratar turbidez inicial de 55 UNT reduciendo a una turbidez final de 10 UNT.

Charapaqui (2019) En el tratamiento del agua del embalse Cuchoquesera - Ayacucho, obtuvo la mejor combinación técnico económica; donde resultó el coagulante sulfato de aluminio con ayudante de coagulación de goma de tara, con dosis óptimas de 27,9 y 3 mg/l, que removieron los sedimentos suspendidos, obteniendo, un efluente con 1,7 UNT y 3,2 U Pt-Co de turbidez y color, respectivamente.

Mientras en esta investigación fueron:

A. Color. Los valores de color del agua con goma de tara, goma de tuna y almidón de mashua se muestran en las Figuras 22, 34, 46 y Tablas 35, 47, 58 respectivamente; presentando valores de 25, 10 y 8 UPt-Co, respectivamente. Excepto goma de tara, Reportaron valores que están dentro del límite máximo permisible, estipulado en el DS N° 031-2010-SA que es de 15 UPt-Co, siendo apto para el consumo humano.

B. Volumen de lodos. En las Figuras 26, 38, 50 y Tablas 35, 47, 58 se observa los valores de los sólidos sedimentables con goma de tara, goma de tuna y almidón de mashua; varían de 3.2 a 6,5 mg/l, debiendo ser cero para consumo humano. El contenido de sólidos sedimentables de las muestras de agua fueron bajos dado que estuvieron cerca del valor mínimo de cuantificación del cono de Imhoff; como con el almidón de mashua que se obtuvo 3.2 mg/l.

C. Turbidez. La investigación de (Enrique *et al*, 2013) logró la remoción de la turbidez del agua del río Magdalena con alumbre (99,80%); siendo la remoción con *Opuntia* menor (93,25%). Mientras que en el presente trabajo los valores de turbidez del agua con goma de tara, goma de tuna y almidón de mashua fueron de 2.03, 1.5 y 1.1 UNT, respectivamente. Observando los resultados de los tres eventos, reportaron valores que están dentro del límite máximo permisible estipulado por la OMS y Reglamento de la Calidad del Agua para consumo humano del DS N ° 031-2010-SA que es de 5 UNT (unidades de turbidez nefelometricas), siendo apto para el consumo humano.

D. pH. En general, el pH del agua con goma de tara, goma de tuna y almidón de mashua presenta una tendencia a la neutralidad, estando comprendidos los valores observados dentro del rango permisible (pH 6,7 a 7,5) que se presenta en las Tablas 35,47, 58 y Figuras 25, 36, 49 respectivamente. Se ubica dentro del rango requerido en los Límites Máximos Permisibles del Reglamento de la Calidad de Agua para consumo humano fijado en el DS N ° 031-2010-SA.

E. Partículas no sedimentables. Los sólidos disueltos y suspendidos presentan valores promedio del orden de 2 a 9 mg/l (Figuras 23, 35, 47 y Tablas 35, 47, 58). Las partículas no sedimentables en el agua presentan ciertas fluctuaciones con goma de tara, goma de tuna y almidón de mashua, habiéndose presentado valores de 9 mg/l, 2.4 mg/l, 2 mg/l respectivamente. Los sólidos totales disueltos, de acuerdo al Reglamento de la Calidad de Agua para consumo humano fijado en el DS N ° 031-2010-SA, los límites máximo permisible deben ser menores a 1 000 mg/l.

F. Conductividad eléctrica. En las Figuras 27, 39, 51 y Tablas 35, 47, 58 se observan los valores de la presencia de sales disueltas en el agua que se expresa en la CE que generan los iones de sales disueltas; en tal sentido, dichas mediciones establecen valores del orden de 220 a 668 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo los valores relativamente bajo, comparados con la normatividad vigente. Los resultados obtenidos con goma de tara, goma de tuna y almidón de mashua son 668, 660, 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Con los tres ayudantes de coagulantes estudiados, la cantidad de conductividad eléctrica se encuentran por debajo de los valores límite del ECA de agua y se ubica entre los valores que fija el Reglamento de la Calidad de Agua para consumo humano DSN ° 031-2010-SA, siendo el límite máximo permisible menor a 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.2. Gradiente

Aguilar (2010) utilizó goma de tara como ayudante de coagulación para una gradiente de 40 s^{-1} y velocidad de 34 rpm, obtuvo una turbiedad de 1.70 UNT con tiempo de floculación de 20 minutos para muestras de agua TIPO I 390 UNT; mientras que en aguas claras TIPO II 25 UNT para una gradiente de 60 s^{-1} y velocidad de 45 rpm, obtuvo una turbiedad de 1.70 UNT con un tiempo de floculación de 20 minutos. En este trabajo se observó en los ensayos de floculación con goma de tara para una gradiente de 60 s^{-1} y velocidad de 45 rpm, una turbiedad 0.76 UNT menor a las demás gradientes y con un tiempo total de floculación de 25 minutos, con goma de tuna para una gradiente de 20 s^{-1} y velocidad de 20 rpm, se registró

una turbiedad 0.76 UNT en un tiempo total de floculación de 25 minutos; y con goma almidón de mashua para una gradiente de 40 s^{-1} y velocidad de 35 rpm, se registró una turbiedad 0.65 UNT en un tiempo total de floculación de 30 minutos.

5.3. Tasa de decantación

Aguilar (2010) realizo ensayos con aguas turbias TIPO 390 UNT obtuvo buen rendimiento con la goma de tara, trabajando solo con sulfato de aluminio obtuvo una tasa de decantación $q = 28 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y la velocidad de sedimentación de 0.032 cm/s , agregando la goma de tara como ayudante de floculación obtuvo una tasa de $q = 37 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y la velocidad de sedimentación de 0.043 cm/s , evidenciando una mejora del 32 % en la tasa de decantación. Mientras que en el presente trabajo la tasa de decantación con el coagulante sulfato de aluminio fue $29 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y la velocidad de sedimentación 0.034 cm/s , agregando al agua el ayudante de coagulante goma de tara resulto $34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y 0.039 cm/s , adicionando a la muestra de agua la goma de tuna resulto $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y 0.035 cm/s , también agregando almidón de mashua resulto $68 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y 0.079 cm/s , respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

6.1. La incidencia de la acción coagulante de la goma de tara en el tratamiento de aguas del

Río Ichu en Huancavelica fue:

- Los valores de los parámetros físicos y químicos registrados: color 25 U Pt-Co, volumen de lodos 4 mg/l, turbidez 2.03 UNT, pH 7.1, partículas no sedimentables 9 mg/l y la conductividad eléctrica 668 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Utilizando como ayudante de floculación fue posible una reducción del sulfato de aluminio de hasta 60%, tasa de decantación $q = 34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y velocidad de sedimentación de 0.039 cm/s.

6.2. La incidencia de la acción coagulante de la goma de tuna en el tratamiento de aguas del

Río Ichu en Huancavelica fue:

- Los valores de los parámetros físicos y químicos registrados: color 10 U Pt-Co, volumen de lodos 6.5 mg/l, turbidez 1.5 UNT, pH 7.5, partículas no sedimentables 2.4 mg/l y la conductividad eléctrica 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Utilizando como ayudante de floculación fue posible una reducción del sulfato de aluminio de hasta 44%, tasa de decantación $q = 30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y velocidad de sedimentación de 0.035 cm/s.

6.3. La incidencia de la acción coagulante del almidón de mashua en el tratamiento de aguas

del Río Ichu en Huancavelica fue:

- Los valores de los parámetros físicos y químicos registrados: color 8 U Pt-Co, volumen de lodos 3.2 mg/l, turbidez 1.1 UNT, pH 6.7, partículas no sedimentables 2 mg/l y la conductividad eléctrica 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Utilizando como ayudante de floculación fue posible una reducción del sulfato de aluminio de hasta 36%, tasa de decantación $q = 68 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y velocidad de sedimentación de 0.079 cm/s.

6.4. Con los resultados obtenidos en esta investigación, se demostró que el almidón de mashua y goma de tuna, se puede utilizar como ayudante de floculación, obteniendo mejoras en la calidad de agua decantada. Los parámetros evaluados están dentro de los límites máximos permisibles; el DS No 031-2010-SA establece para fines de agua potable (turbiedad: 5 NTU; color: 15 U.C;pH: 6.5-8.5 y conductividad: 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El agua es apta para otros usos en sectores tales como la agricultura, minería, recreación e industrial.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se debe continuar con los estudios que comprueban el potencial de los coagulantes naturales, entre ellos, la goma de tara (*Caesalpinia Spinoza*), polvo de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) y el polvo de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), estos trabajos deben ser aplicados en muestras de agua que presenten diferentes características fisicoquímicas y microbiológicas, con la finalidad de establecer en cuáles de las condiciones estos coagulantes naturales son más eficientes para el tratamiento del agua, y proponerlos como alternativas en lugar del uso de coagulantes químicos.
- 7.2. En este estudio se evaluó el mejoramiento de la calidad del agua utilizando coagulantes naturales, a escala laboratorio, aplicando al reactivo sulfato de aluminio. Sin embargo, también es necesario, estudiar las condiciones de mezclado, dado que son factores que tienen influencia sobre la eficiencia de tratamiento de estos procesos.
- 7.3. Se deben investigar los efectos en la salud y el ambiente al usar los coagulantes químicos en el tratamiento del agua, a fin de optar, de ser el caso, por otras alternativas de coagulantes que sean inocuos, y que otorguen beneficios económicos y ambientales.
- 7.4. Para el proceso de prueba de jarras y medición de parámetros de la calidad del agua, se debe de realizar de manera adecuada, tener en cuenta toda la metodología experimental verificando con mucho cuidado que sean de las mejores condiciones para obtener resultados precisos y confiables.
- 7.5. Buscar procesos que permitan aislar el principio activo coagulante presente en la tuna (*Opuntia ficus-indica*), tara (*Caesalpinia spinoza*) y la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) para aumentar su eficiencia en la remoción de turbidez y color en aguas crudas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar, A. (2010). *Utilización de las semillas de Tara como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua*. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). (2009). R.J. N ° 291.

ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). (2020). *Paraíso del agua*.

<https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>.

Andía, C. (2000). *Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Tratamiento de agua: coagulación floculación*. SEDAPAL. Lima, Perú.

APHA, AWWA y WPCF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20° ed., American Public Health Association, EUA.

Asharuddin, S. (2019). *Science Direct. Flocculation and antibacterial performance of dual coagulant system of modified cassava peel starch and alum*. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100888>.

ASTM (American Standard Test Materials, USA). (2003). *ASTM D2035 – 08. Standard practices for coagulation – flocculation jar test of water*. EUA, 4 p.

Awang, H., Daud, Z., Hatta, M.Z. (2015). *Hydrology Properties and Water Quality Assessment of the Sembrong Dam, Johor, Malaysia*. *Procedia - Soc Behav Sci.*; 195:2868–73.

AWWA (American Water Works Association, USA). (2000). *Water quality and treatment*.

Balzan, M. V., Hassoun, A. E. R., Aroua, N., Baldy, V., Bou Dagher, M., Branquinho, C., Dutay, J. C., El Bour, M., Médail, F., Mojtahid, M., Morán-Ordóñez, A., Roggero, P. P., Rossi Heras, S., Schatz, B., Vogiatzakis, I. N., Zaimes, G. N. y Ziveri, P.

- (2020). *Ecosystems. In: Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future* (W. Cramer, J. Guiot y K. Marini, eds). First Mediterranean Assessment Report Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, p. 151.
- Bratby, J. (2006). *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. Inglaterra, 407 p.
- Burlingame, D. R. (2017). *Humans as Sensors to Evaluate Drinking Water Taste and Odor: A Review*. American Water Works Association (109), 13-22.
- Carhuatocto, H. (2009). *La constitución política y la protección del ambiente en el Perú*. Recuperado de: <http://normasambientalesperu.blogspot.com/2009/05/la-constitucion-y-la-proteccion-del.html>.
- Charapaqui, A. J. (2019). *Dosificación de coagulantes y floculantes para la remoción de sedimentos del agua en el embalse Cuchoquesera, Ayacucho*. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4158/charapaqui-ancasi-juan.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Chávez, J., Leiva, D. y Corroto, F. (2016). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales en la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas*. Ciencia Amazónica 6: 16-27.
- Choque, D. (2020). *Optimization of the flocculating capacity of natural coagulants in water treatment*. <http://doi.org/10.15446/dyna.v87n212.80467>.
- Chuquimbalqui, Y. (2017). *Determinación de parámetros físico – químicos y biológicos del agua del río Tío Yacu, para uso recreacional y riego de vegetales, del distrito de Elias*

Soplín Vargas – Rioja. Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba.

<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/2514/INFORME%20DE%20>

CIAMA (Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente). (1992). *Declaración de Dublín y el Informe de la Conferencia 26 al 31 de enero de 1992*. Dublín, Irlanda.

Cuong, D., Hoan, N., Dong, D., Minh, L., Thanh, N., y Ha, H. (2020). *Tannins: extraction from plants*. In A. Aires. (Ed.), *In tannins - structural properties, biological properties and current Knowledge* (pp.1–20). Vila Real, Portugal. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86040>

Degrémont, P. (1996). *Water treatment handbook*. 6ª edición, vol.1, Francia.

Dewolf J., Dempsey B., Taylor M., Potter J.W. (2003). AWWA Research Foundation, *Guidance Manual for Coagulant Changeover*. Ed. AWWA, EUA, 185 p.

DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental, Perú). (2008). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales*. Dirección de ecología y protección del ambiente, área de protección de los recursos hídricos, Ministerio de Salud.

Donato, N., Navarro, R., Ávila, M. y Mendizábal. (2006). *Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita*. Revista Iberoamericana de Polímero Volumen 7.

Enrique, O. V., Mercado, M.I. y Montes, G.L. (2013). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica**. Producción + Limpia - enero - junio de 2013. Vol.8, No.1.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552013000100003&script=sci_abstract&tlng=es

EPA (Environmental Protection Agency, United States). (2016). *Introduction of pH*. Obtenido de https://www3.epa.gov/caddis/ssr_ph_int.html.

Fano, M. G. R. (2021). *Represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en una central hidroeléctrica Mantaro*. Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.

González, M., Orozco, C., Pérez, A. (2011). *Contaminación ambiental: Una visión desde la química*. 2da ed. Madrid, Paraninfo; pp 31-86.

González, G., Chávez, M. y Mejías, D. (2006). *Uso del exudado gomoso por Samanea saman en la potabilización de las aguas*. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia. Vol 29, 226 – 231.

https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1877/1027.

González, M., Hernández, C. y Kaehler, J. (1991). *Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas*. Departamento de Química, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Granados, N. (2007). *Determinación de la dosis más efectiva de la mezcla de carbón activado en polvo con sulfato de aluminio líquido para la potabilización de agua en la empresa aguas y aguas de Pereira*. Tesis. Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Tecnología Química, Colombia.

- He, D., Li, Y., Tang, H., Luo, L., Ma, R., Wang, J., y Wang, L. (2016). *Phenolic compounds from the twigs and leaves of tara (Caesalpinia spinosa)*. Journal of Asian Natural Products Research, 18(4), 334–338. <https://doi.org/10.1080/10286020.2015.1096269>.
- Hendricks, D.W. (2006). *Water treatment unit processes: physical and chemical*. EUA.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2017). *Resultados de los censos nacionales 2017*. Lima, Perú.
- Jiménez, F. (2004). *La cuenca hidrográfica como unidad de planificación, manejo, y gestión de los recursos naturales*. CATIE: Turrialba, CR. 16p.
- Kelderman, P. y Kruis, G. (2001). *Laboratory Course Aquatic Chemistry and its applications in environmental engineering*. International Institute for Infrastructural, hydraulic and environmental engineering, Holanda.
- Kiesling, O. F. R. (2005). *100 Cactus Argentinos*, v. 1. Ed. Albatros. 128 pp. ISBN 950-24-1108-0 en línea.
- Lozano, F. L. (2018). *“Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de opuntia ficus-indica (tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca”*. Tesis de grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrel; Cajamarca, Perú.
- <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/721/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Masters, G., Ela, W. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental*. 3er Ed. Madrid: Pearson-Prentice Hall; pp 191-192.

Melo, M., Glorio, P. y Tarazona, G. (2013). *Efecto de la madurez en los componentes de valor comercial (taninos y goma) de tara Caesalpinia spinosa*. Revista de La Sociedad Química Del Perú, 79(3), 218–228.

MINAM y SPDA. (2017). *Manual de Legislación Ambiental*.

<http://www.legislacionambientalspda.org.pe/>

MINAM. (2016a). *Guía del Sistema Nacional de Gestión Ambiental*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.

MINAM. (2016b). *Plan Estratégico Sectorial Multianual del Sector Ambiental 2017-2021*.

Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.

Medeiros, A.C., Freitas Faial, K.R., Freitas Faial, K.D., Da Silva Lopes, I.D., De Oliveira Lima, M., Guimarães, R. M. y Mendonça, N. M. (2017). *Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil*, doi: <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.002>, Marine Pollution Bulletin, 123(1-2), 156-164.

Molano, L. (2011). *Las semillas de Moringa Oleífera Lam. Como alternativa coagulante natural para la purificación de agua*. Tesis de especialista, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1877/1027

Moscoso, J. (2016). *Manual de Buenas Prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*.

http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/manualde_buenas_practicas_para_el_uso_seguro_y_productivo_de_las_aguas_residuales_domesticas.pdf.

Moscoso, L. (2015). *Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación-floculación en Sistemas de tratamiento de agua para potabilización*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

MWH. (2005). *Water Treatment Principles and Design*. 2da. Edición, Ed. Wiley y Sons. EUA, 1948 p.

Ochoa, J. (2003). *Obtención de floculantes no iónicos y aniónicos (densidad de carga 40%) por polimerización en microemulsión inversa, influencia del sistema tensioactivo*. Revista Iberoamericana de Polímeros. Vol 4, 14- 16.

Ojeda, B. L. F. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *tropaeolum tuberosum*, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS*. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3866>

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2020). *Desarrollo Sustentable*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2014). *Agua para la década de vida*.

<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015a). *Aprobación del Acuerdo de París*.

París: COP21.

<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>

Pizzi, N.G. (2005). *Water treatment operator handbook*. EUA, 251p.

- Pu, J. H. (2019). *Turbulent rectangular compound open channel flow study using multi-zonal approach*. Environmental Fluid Mechanics 19 (3), 785–800.
- Quevauviller, P., Thompson, C. (2006). *Analytical Methods for Drinking Water: Advances in Sampling and Analysis*. 1a Ed. Chichester, London, John Wiley y Sons; pp 16.
- Rahman, B. S. (2017). *Quality Assessment of the Non-Carbonated Bottled Drinking Water Marketed in Bangladesh and Comparison with Tap Water*. Food.
- Rangeti, I., Dzwauro, B., Barratt, G. y Otieno, F. (2015). *Ecosystem-specific water quality indices*, doi: <http://doi.org/10.2989/16085914.2015.1054341>, African Journal of Aquatic Science, 40(3), 227-234.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación - floculación en una planta de tratamiento de agua potable*. Medellín - Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rizvi, N., Deeksha, K., Varun, J. (2016). *World Academy of Science, Engineering and Technology*. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering 10(1):10.
- Romero, L., Vargas, M. (2006). *Aprovechamiento de algunos materiales como floculantes y coagulantes*. Tecnología en marcha, Vol. 19.
- Sánchez, A. V. G. (2020). *Calidad del agua del rio Ichu en zonas urbanas del distrito de Huancavelica*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3437>
- Sangani, M.H., Amiri, B.J., Shabani, A.A., Sakieh, Y. & Ashrafi, S. (2015). *Modeling relationships between catchment attributes and river water quality in southern catchments of the Caspian Sea*. Environmental Science and Pollution Research 22: 4985-5002.

- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua - Evaluación y Diagnostico*. 1a Ed. Medellin: pp 47-69.
- Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A.G. y Perera, B.J. (2016). *Development of river water quality indices-a review*, doi: <http://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>, Environ. Monit. Assess. 188, 58.
- Steel, E., Mcghee, A. y Terence. J. (1991). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*, Barcelona, pp. 252-254.
- Zaimes, G. N. (2020). *Mediterranean riparian areas – climate change implications and recommendations*. Journal of Environmental Biology 41, 957–965.
- Zaimes, G. N. y Iakovoglou, V. (2021). *Assessing riparian areas of Greece – an overview*. Sustainability 13 (1), 309.
- Taiwo, A., Adenike, K. y Aderonke, O. (2020). *Efficacy of natural coagulant protein from Moringa oleifera (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria*. (Enlínea) 15 de enero de 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335>.
- Tamayo, C. y Tamayo, M. (1997). *El Proceso de la Investigación científica*. México: Limusa.
- Tapia, M. (1997). *Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación*. FAO, Lima, Perú.
- Tebbutt, T. (1998). *Principles of Water Quality Control*. 5ta Ed. London, Butterworth Heinemann; pp 1.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P. y Dobhal, R. (2013). *Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index*, doi: <http://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3>, American Journal of Water Resources, 1(3), 34-38.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). (2015). Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/naturalsciences/environment/water/wwap/factsandfigures/allfactswwdr3/fact15waterpollution>.

Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tomo I, Colombia, pp. 43-47.

Valeriano, M. J. y Matos, C. R. (2019). *Influencia de la Goma de Tara (Caesalpinia spinosa) como Ayudante en el Proceso de Coagulación-Floculación para la Remoción de Turbidez de una Suspensión Artificial de Bentonita*. Inf. tecnol. vol.30 no.5 La Serena oct. 2019.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500299

Vásquez, M. (2015). *Evaluación de la calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y algunos parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca, Pampas, Pallasca. Ancash. Perú*. Universidad Nacional de Trujillo, Ancash. Recuperado de <http://creativecommons.org/licenses/by-ns-sa/2.5/pe/>

Vázquez, O. (1994). *Extracción de coagulantes naturales del Nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales*. Tesis de especialista en Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma de Nuevo Colon, Monterrey, México.

https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1877/1027

Wang, Y., Wilson, J.M., VanBriesen, J.M. (2015). *The effect of sampling strategies on assessment water quality criteria attainment*. J. Environment Management; 154:33–9.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

IX. ANEXO

9.1. Matriz de consistencia

Acción coagulante de la tuna, tara y mashua en el tratamiento de aguas del río Ichu Huancavelica, 2021

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores
<p>General:</p> <p>¿En qué medida la acción coagulante de la tuna, tara y mashua inciden en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021?</p>	<p>General:</p> <p>Determinar la incidencia de la acción coagulante de la tuna, tara y mashua en el tratamiento de aguas del río Ichu en Huancavelica 2021.</p>	<p>General:</p> <p>La acción coagulante de la tuna, tara y mashua inciden significativamente en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021</p>	<p>V1: VI: Acción coagulante de la tuna, tara y mashua.</p> <p>Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Acción coagulante de la tuna 2. Acción coagulante de la tara 3. Acción coagulante de la mashua
<p>Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿En qué medida la acción coagulante de la tuna incide en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021? 2. ¿En qué medida la acción coagulante de la tara incide en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021? 3. ¿En qué medida la acción coagulante de la mashua incide en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021? 	<p>Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar la incidencia de la acción coagulante de la tuna en el tratamiento de aguas del río Ichu en Huancavelica 2021. 2. Determinar la incidencia de la acción coagulante de la tara en el tratamiento de aguas del río Ichu en Huancavelica 2021. 3. Determinar la incidencia de la acción coagulante de mashua en el tratamiento de aguas del río Ichu en Huancavelica 2021. 	<p>Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La acción coagulante de la tuna incide significativamente en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021. 4. La acción coagulante de la tara incide significativamente en el tratamiento del agua del Río Ichu Huancavelica 2021. 5. La acción coagulante de la mashua incide significativamente en el tratamiento del agua del río Ichu Huancavelica 2021. 	<p>V2: VD: Tratamiento de las aguas del río Ichu Huancavelica.</p> <p>Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Remoción de sedimentos (Partículas no sedimentables) (mg/ml). 2. Remoción de la turbiedad (mg/ml). 3. Dosis optima de sulfato de aluminio (mg/ml). 4. pH. 5. Conductividad eléctrica (mS/cm). 6. Volumen de lodos (ml/l). 7. Color (Pt-Co)