UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

TESIS:

"EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus – indica*) EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL RÍO ICHU - HUANCAVELICA - 2019"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
USO Y TRATAMIENTO DE AGUA

PRESENTADO POR:
Bach. ACEVEDO MATAMOROS, Yanet
Bach. HUAMAN CUNYA, Helard Gustavo

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCAVELICA, PERÚ
2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los cinco días (05) del mes de noviembre del año 2021, siendo las diez de la mañana (10:00 am.), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana (Presidente), Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo (Secretario), M.Sc Freddy Alfredo Matamoros Huayllani (Vocal), reestructurados con Resolución de Decano Nº 039-2020-FCI-UNH, de fecha 19 de octubre del 2020, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: **"EFICIENCIA DEL COAGULANTE DE MUCÍLAGO DE NOPAL *(Opuntia ficus-indica)* EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL RIO ICHU-HUANCAVELICA-2019",** presentado por los Bachilleres **Yanet ACEVEDO MATAMOROS y Helard Gustavo HUAMAN CUNYA,** con presencia del Dr. Fernando Martin Toribio Román, Asesor de la presente tesis a fin de optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**. Finalizada la sustentación virtual a horas 10.40 am.; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Yanet ACEVEDO MATAMOROS

APROBADO	[X]	POR UNANIMIDAD
DESAPROBADO	[ ]	

Helard Gustavo HUAMAN CUNYA

APROBADO	[X]	POR UNANIMIDAD
DESAPROBADO	[ ]	

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Vocal

V° B° Decano

TÍTULO

"Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica - 2019"

AUTORES

Bach. ACEVEDO MATAMOROS, Yanet.

Bach. HUAMAN CUNYA, Helard Gustavo.

ASESOR

Dr. TORIBIO ROMÁN, Fernando Martín

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi corazón a mis padres, quienes a lo largo de mi vida me protegieron y llevaron por el camino del bien. Gracias por toda la paciencia y amor que me brindaron.

Agradezco a Dios por permitirme tener una gran familia, que con su apoyo incondicional me motivan constantemente a cumplir mis anhelos. Simplemente los amo.

Yanet Acevedo Matamoros

Dedico esta tesis a mi familia especialmente a mi madre y a mi padre quienes, con su trabajo, dedicación y el apoyo incondicional puede tener un estudio y sobre todo cumplir el sueño de tener una carrera profesional y sobre todo agradecer a Dios por permitirme tener esta familia y sobre tener unos padres como ellos.

Helard Gustavo Huamán Cunya

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por guiar nuestras vidas con sabiduría, tolerancia y amor por el camino correcto en nuestra formación ética y profesional.

Agradecemos de manera especial a nuestros padres, por el amor y el apoyo que supieron brindarnos día a día, quienes gracias a sus consejos y valores nos dieron las fuerzas para ser mejores personas y continuar con nuestra formación profesional.

Agradecemos a nuestros hermanos y familiares quienes nos aconsejaron y apoyaron incondicionalmente.

Así mismo, agradecemos a los Docentes y personal Administrativo de la Escuela Profesional Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica, por compartir sus conocimientos y brindarnos su apoyo en el desarrollo de nuestra carrera profesional.

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN……..ii

TÍTULO iii

AUTORES iv

ASESOR v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xiii

RESUMEN xvii

ABSTRACT xviii

INTRODUCCIÓN xix

CAPÍTULO I 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. Descripción del problema 1

1.2. Formulación del problema 4

1.3. Objetivos 4

1.4. Justificación 5

1.5. Limitaciones. 7

CAPÍTULO II 8

MARCO TEÓRICO 8

2.1. Antecedentes 8

2.2. Bases teóricas 19

2.3. Bases conceptuales 27

2.4. Definición de términos 40

2.5. Hipótesis 42
2.6. Variables 43
2.7. Operacionalización de variables 44
CAPÍTULO III 46
MATERIALES Y MÉTODOS 46
3.1. Ámbito temporal y espacial 46
3.2. Enfoque de investigación 47
3.3. Tipo de investigación 47
3.4. Nivel de investigación 47
3.5. Método de investigación 48
3.6. Diseño de investigación 48
3.7. Población, muestra y muestreo 50
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 53
3.9. Procedimiento de recolección de datos 57
3.10. Técnicas y procesamiento de análisis de datos 116
CAPÍTULO IV 119
DISCUSIÓN DE RESULTADOS 119
4.1. Presentación de resultados 119
4.2. Análisis de datos 127
4.3. Prueba de hipótesis 130
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 142
CONCLUSIONES 145
RECOMENDACIONES 146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 147
APÉNDICE 154

Apéndice N° 1: Matriz de consistencia 155

Apéndice N° 2: Dimensionamiento de las pencas de nopal (*Opuntia ficus – indica*) 157

Apéndice N° 3: Balance de materia prima. 158

Apéndice N°4: Ficha de recolección de datos en campo y laboratorio. 159

Apéndice N° 5: Calibración y/o verificación de equipos 166

Apéndice N° 6: Panel Fotográfico ..... **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía del nopal (Opuntia ficus-indica) 33
Tabla 2 Composición química de la penca de nopal (Opuntia ficus-indica) 35
Tabla 3 Operacionalización de variables 44
Tabla 4 Datos del % de humedad de la penca de tuna 60
Tabla 5 Datos del % de cenizas de la penca de tuna 62
Tabla 6 Datos del pH de la penca de tuna 64
Tabla 7 Dimensionamiento de las Pencas de Tuna (Opuntia ficus - indica) seleccionadas 75
Tabla 8 Balance de materia prima empleada en los ensayos N° 01 y 02 76
Tabla 9 Volumen obtenido de coagulante fresco en relación 1:2 (penca/agua) en el mes de marzo 77
Tabla 10 Pruebas físicas del mucilago de nopal (Opuntia ficus - indica). 78
Tabla 11 Solubilidad de mucílago de nopal. 79
Tabla 12 Ensayo de prueba de jarras N° 01 con dosificación de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 a 60 (ml/L) 95
Tabla 13 Valores de pH, conductividad y temperatura después del tratamiento obtenidos en el Ensayo de prueba de jarras N° 01 97
Tabla 14 Parámetros organolépticos del agua del río Ichu 98
Tabla 15 Ensayo N° 02 con rango de dosificación de 5 a 40 (ml/L) 105
Tabla 16 Valores de pH, conductividad y temperatura después del tratamiento obtenidos en el Ensayo de prueba de jarras N° 02 106
Tabla 17 Parámetros organolépticos de las muestras de agua tratada en el Ensayo N° 02 107
Tabla 18 Dosis óptima de coagulante a base de mucilago de nopal (Opuntia – ficus indica)……...109
Tabla 19 Comparación de eficiencia de remoción de turbiedad entre $Al2(SO4)3$ y el coagulante a base de mucílago de nopal 116
Tabla 20 Índice de Willcomb 117

Tabla 21 Resultados de eficiencia (%) de coagulante a base de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad 120
Tabla 22 Resultados de dosis óptima (ml/L) de coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad 122
Tabla 23 Resultados de turbiedad (NTU) después del tratamiento con dosis de coagulante de mucilago de nopal 124
Tabla 24 Resultados de la comparación de eficiencia (%) entre el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio para la remoción de turbiedad 126
Tabla 25. Test de normalidad 127
Tabla 26. Test de Levene para homogeneidad de varianzas de mucilago de nopal con dosis de 10 – 60 ml/l 128
Tabla 27 Test de Levene para homogeneidad de varianzas de mucilago de nopal con dosis de 05 – 40 ml/l 129
Tabla 28 Test de Levene para homogeneidad de varianzas de la comparación del sulfato de aluminio y mucilago de nopal 129
Tabla 29. *Análisis de varianza (ANOVA) para eficiencia del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad* 133
Tabla 30. *Prueba de medias Tukey de la eficiencia del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad* 134
Tabla 31 Análisis de varianza (ANOVA) para las dosis de coagulante de mucílago de nopal en la remoción de turbiedad 135
Tabla 32. Prueba de medias Tukey de las dosis de coagulante de mucílago de nopal para la remoción de turbiedad 136
Tabla 33 Análisis de varianza (ANOVA) para turbiedad post tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal 138
Tabla 34. Prueba de medias Tukey para turbiedad post tratamiento 139
Tabla 35 Análisis de varianza (ANOVA) para comparación de eficiencia de remoción entre coagulantes 140
Tabla 36. Prueba de medias Tukey para la comparación de la eficiencia de las dosis de coagulante de mucilago de nopal y sulfato de aluminio 141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fuerza de atracción y repulsión 20
Figura 2 Atrapamiento de las partículas en un floc. 22
Figura 3 Efecto del puente de las partículas en suspensión 23
Figura 4 Ubicación geopolítica del distrito de Huancavelica 46
Figura 5 Ubicación del punto de extracción de muestras 47
Figura 6 Visualización o esquema gráfico de un experimento 49
Figura 7 Modelo general del Diseño Completamente aleatorizado 50
Figura 8 Ubicación del punto de muestreo en las coordenadas UTM 858275 N 492096 E y altitud 3,967 m.s.n.m 51
Figura 9 Recolección de muestras en la captación de agua del río Ichu sector Punco Punco 52
Figura 10 Ficha de recolección de datos empleada en los ensayos de prueba de jarras 54
Figura 11 Equipo de prueba de jarras Velp Scientifica 55
Figura 12 Turbidímetro HACH 2100Q 56
Figura 13 Multiparámetros HACH HQ 40d 57
Figura 14 Recolección de pencas de tuna 58
Figura 15 Determinación de la humedad de la penca de tuna (Opuntia ficus – indica) 59
Figura 16 Muestras de penca de tuna deshidratadas 60
Figura 17 Determinación de cenizas de la penca de tuna (Opuntia ficus – indica) . 61
Figura 18 Cenizas de las muestras de penca de tuna 62
Figura 19 Determinación de pH de la solución de penca de tuna (Opuntia ficus – indica) 64
Figura 20 Proceso de obtención del coagulante natural 65
Figura 21 Selección de pencas de tuna más óptimas 66
Figura 22 Pesado de las pencas seleccionadas 67

Figura 23 Medición del ancho, largo y espesor de las pencas de tuna seleccionadas 67
Figura 24 Lavado y cepillado de la penca de tuna 68
Figura 25 Extracción de espinas de la penca de tuna 69
Figura 26 Pelado de las pencas de tuna 69
Figura 27 Penca picada en trozos 70
Figura 28 Vertido de agua en relación 1:2 Penca/Agua 71
Figura 29 Extracción del mucílago de nopal, relación 1:2 Penca/Agua 71
Figura 30 Sedimentación por 20 minutos de restos de fibra del mucílago de nopal 72
Figura 31 Coagulante sedimentado 73
Figura 32 Filtración del mucilago de nopal 73
Figura 33 Filtración del mucilago de nopal 74
Figura 34 Medición de pH del coagulante fresco a base de mucilago de nopal 78
Figura 35 Prueba de solubilidad para el coagulante de mucilago de nopal en agua 79
Figura 36 Prueba de solubilidad para el coagulante de mucilago de nopal en etanol 96° 80
Figura 37 Prueba de solubilidad para el coagulante de mucilago de nopal en etanol 96° 80
Figura 38 Verificación de las paletas de agitación 81
Figura 39 Diluciones para muestras de alta turbiedad con rango de Turbidímetro hasta 1000 NTU 82
Figura 40 Dilución de turbiedad cruda >1000 NTU de la muestra de agua de río Ichu 83
Figura 41 Medición de turbiedad de dilución con el Turbidímetro HACH 2100Q83
Figura 42 Solución estándar de cloruro de sodio 491±2.5 mg/L como NaCl 1000 ±10 µS/cm 84
Figura 43 Calibración de sonda de conductividad en solución estándar de NaCl 491±2.5 mg/L 85
Figura 44 Soluciones de tampón pH de 4.01, 7.00 y 10.01 85
Figura 45 Calibración con soluciones de tampón pH de 4.01, 7.00 y 10.01 86
Figura 46 *Limpieza de electrodo de pH* 86

Figura 47 Medición y lectura de pH, conductividad eléctrica y temperatura 87
Figura 48 Almacenamiento de electrodo pH 88
Figura 49 Homogeneización de las muestras de agua de río Ichu 88
Figura 50 Aforamiento en 1 L de muestra de agua cruda para al Ensayo de prueba de jarras N° 01 89
Figura 51 Vertimiento de las dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml de coagulante natural 90
Figura 52 Formación de flóculos a una agitación de 40 rpm por 20 minutos 91
Figura 53 Sedimentación de flóculos 92
Figura 54 Recolección de muestras con ayuda del sifón de vidrio 93
Figura 55 Muestras recolectadas para la medición de parámetros 94
Figura 56 Medición de parámetros con el turbidímetro HACH 21000 y multiparámetros HACH HQ 40d 94
Figura 57 Comparación de turbiedades después del tratamiento en el Ensayo de prueba de jarras N° 01 96
Figura 58 Aforamiento en 1 L de muestra de agua cruda para al Ensayo de prueba de jarras N° 02 99
Figura 59 Vertimiento de las dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante natural 100
Figura 60 Formación de flóculos a una agitación de 40 rpm por 20 minutos durante el Ensayo de prueba de jarras N° 02 101
Figura 61 Sedimentación de flóculos – Ensayo de prueba de jarras N° 02 102
Figura 62 Recolección de muestras con ayuda del sifón de vidrio 102
Figura 63 Muestras recolectadas para la medición de parámetros – Ensayo N° 02 103
Figura 64 Medición de parámetros con el turbidímetro HACH 21000 y multiparámetros HACH HQ 40d – Ensayo N° 02 104
Figura 65 Turbiedad después del tratamiento correspondiente al ensayo de prueba de jarras N° 02 106
Figura 66 Pesado de 10 g de sulfato de aluminio $Al2(SO4)3$ 110
Figura 67 Aforamiento de 10 g de $Al2(SO4)3$ en una fiola de 100 ml 110

Figura 68 Aforamiento de 20 ml de la solución madre de $Al2(SO4)3$ en otra fiola de 100 ml 111
Figura 69 Prueba de jarras para la comparación entre el sulfato de aluminio $Al2(SO4)3$ y el coagulante a base de mucilago de nopal 113
Figura 70 Sedimentación de flóculos durante el Ensayo de prueba de jarras de comparación 115
Figura 71 Recolección de muestras de agua tratada por el sulfato de aluminio y el coagulante de mucílago de nopal 115
Figura 72 Variación de la eficiencia (%) del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad, con dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L 121
Figura 73 Variación de la eficiencia (%) del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad, con dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L 121
Figura 74 Variación de la turbiedad (NTU) tratada en función a las dosis aplicadas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L de coagulante natural 125
Figura 75 Variación de la turbiedad (NTU) tratada en función a las dosis aplicadas de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante natural 125
Figura 76 Comparación de eficiencia (%) entre el sulfato de aluminio y el coagulante de mucilago de nopal 127
Figura 77 *Valor crítico y el valor de Fisher para eficiencia de del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad* 133
Figura 78 Valor crítico y valor de Fisher para dosis del coagulante de mucílago de nopal 136
Figura 79 Valor crítico y valor de Fisher para turbiedad post tratamiento 138
Figura 80 Valor crítico y valor de Fisher para comparación de dosis óptimas entre coagulantes 140

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu, para ello, se obtuvo el coagulante de la penca de tuna en una relación de 1:2 (penca:agua). La investigación fue realizada con una muestra de 60 litros de agua con valores de turbiedad inicial entre 1561 a 1568 (NTU). En el proceso de búsqueda de la dosis más eficiente de coagulante de mucílago de nopal para remover valores de turbiedad inicial entre 1561 a 1568 NTU, se ejecutó el Ensayo N° 01 a manera de pre prueba aplicando dosis de coagulante natural de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L donde se encontró que la dosis más eficiente fue 40 ml/L; continuando con la búsqueda fue necesario realizar el Ensayo N° 02 disminuyendo la dosificación de manera conveniente a partir de 40 ml/L, se aplicaron dosis de 5, 12, 15, 25, 35, 40 ml/L, donde se volvió a encontrar que la dosis óptima fue 40 ml/L con una eficiencia de remoción de turbiedad al 99.33%, obteniendo una turbiedad post tratamiento de 10.47 NTU. Asimismo, se realizó la comparación entre el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el coagulante de mucilago de nopal, donde se obtuvo una eficiencia ligeramente mayor con el coagulante natural al 99.15% con respecto al sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ con una eficiencia al 99.00%.

Palabras claves: turbiedad, mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica*), eficiencia, remoción, sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

ABSTRACT

The present research work aimed to evaluate the efficiency of the nopal mucilage coagulant (Opuntia ficus - indica) in the removal of the turbidity of the Ichu river, for this, the coagulant of the prickly pear leaf was obtained in a ratio of 1 : 2 (stalk: water). The research was carried out with a sample of 60 liters of water with initial turbidity values between 1561 and 1568 (NTU). In the process of searching for the most efficient dose of nopal mucilage coagulant to remove initial turbidity values between 1561 and 1568 NTU, Test No. 01 was carried out as a pre-test, applying doses of natural coagulant of 10, 20, 30, 40, 50 and 60 ml / L where it was found that the most efficient dose was 40 ml / L; Continuing with the search, it was necessary to carry out Test No. 02, decreasing the dosage in a convenient way from 40 ml / L, doses of 5, 12, 15, 25, 35, 40 ml / L were applied, where it was found again that the optimal dose was 40 ml / L with a turbidity removal efficiency of 99.33%, obtaining a post-treatment turbidity of 10.47 NTU. Likewise, a comparison was made between the aluminum sulfate Al2 (SO4) 3 and the nopal mucilage coagulant, where a slightly higher efficiency was obtained with the natural coagulant at 99.15% with respect to the aluminum sulfate Al2 (SO4) 3 with 99.00% efficiency.

Key words: turbidity, nopal mucilage (*Opuntia ficus - indica*), efficiency, removal, aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3$.

INTRODUCCIÓN

Para el ser humano, contar con el servicio de agua potable para cubrir sus necesidades básicas es un derecho esencial y fundamental. A pesar de ello, en la actualidad 1.500 millones de personas viven sin tener acceso al servicio de agua potable, y casi un 50% de la población total de los países en vías de desarrollo padece en algún momento dado problemas de salud debido a la falta de agua y saneamiento (Alcázar, 2015).

El agua derivada directamente de fuentes superficiales como manantiales, ríos y lagos contienen impurezas, gases, residuos y microorganismos que son perjudiciales para la salud humana, asimismo las bacterias, virus y parásitos tienden a unirse en diferentes tipos de material en suspensión por ser partículas coloidales, generando enfermedades gastrointestinales e incrementando la turbiedad. Por ello, la separación de la turbidez es indispensable antes de llevar a cabo la etapa de desinfección del proceso de potabilización del agua (Lozano, 2018).

El compuesto químico más utilizado en clarificar el agua es el sulfato de aluminio, por remover sólidos en suspensión y microorganismos entre 90 y 99% en condiciones óptimas. Sin embargo, puede generar consecuencias negativas a largo plazo por ser asimilado fácilmente por el organismo del hombre. Sus efectos son asociados con diferentes formas el Alzheimer, cáncer y enfermedades óseas. El aluminio en concentraciones mayores a 0,1 mg/L en el agua potable puede ocasionar un riesgo, en especial para el mal de Alzheimer. Además, el sulfato de aluminio genera lodos que no pueden ser aprovechados como biosólidos porque tienen un impacto negativo en los suelos y en el agua debido a su ecotoxicidad (Olivero *et al*., 2013).

Hace tiempo se viene buscando nuevas alternativas, muchas de ellas de origen vegetal con opciones económicas y limpias, para poder sustituir o disminuir el uso de los coagulantes químicos. Los coagulantes provenientes de origen animal o vegetal, son sustancias que se pueden disolver en agua y que actúan de manera similar a los coagulantes sintéticos en el proceso de clarificar el agua residual. Entre estos se encuentra el coagulante natural extraído de cactus del género Opuntia. La familia de

cactus del género Opuntia ha sido conocida por su gran producción de mucílago, es un complejo utilizado por el cactus para almacenar agua. (Contreras *et al*., 2015).

Esta investigación busca evaluar la eficiencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica),* en la remoción de la turbidez del agua del río Ichu, en la ciudad de Huancavelica. Asimismo, está estructurada en los siguientes capítulos: el capítulo I muestra el planteamiento del problema, el capítulo II muestra el marco teórico, el capítulo III describe la metodología de la investigación, el capítulo IV comprende la discusión de resultados; finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La cantidad de agua dulce que existe en la superficie terrestre es limitada, su calidad está sometida a presiones constantes, por ser un líquido esencial para la sobrevivencia del ser humano. La conservación de la calidad del agua dulce es muy importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. (OMS, 2005).

Las distintas actividades originadas por el ser humano en los recursos hídricos, están provocando una alteración de sus características físicas, químicas y biológicas, elevando sus niveles de contaminación que hacen del agua no consumible, por este motivo los tratamientos del agua son mayormente más complicados. El agua potable debe estar libre de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas o nocivas para la salud, y cumplir con las normas bacteriológicas y fisicoquímicas establecidas (Chulluncuy, 2011)

Se estima que en el mundo más del 80 % de las aguas residuales (más del 95 % en algunos países en desarrollo) se vierte al ambiente sin tratamiento alguno. La contaminación del agua es cada vez mayor en los continentes de Asia, África y América Latina. Se registra más de 800.000 muertos en el mundo en el año 2012 a consecuencia de la contaminación del agua potable. Cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas en mares y océanos, afectando a los ecosistemas marinos en una superficie de 245.000 km^2, con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias (ONU, 2017).

En el Perú, el crecimiento poblacional ha contribuido con la problemática de la contaminación en los lagos, ríos y mares; actualmente muchos sirven como botaderos de todo tipo de residuos. Por esto, se puede mencionar que el grado de contaminación del medio ambiente es proporcional al crecimiento poblacional.

Las principales causas que ocasionan este problema ambiental son: la actividad minera, la actividad industrial y la ausencia de sistemas adecuados de saneamiento en las ciudades (Silva, 2017).

En la ciudad de Huancavelica, la explosión demográfica se ve reflejada en la inadecuada disposición de las aguas residuales municipales (principalmente materia fecal) y residuos sólidos (basura), que son vertidas al río Ichu sin tratamiento alguno. Los impactos ambientales perjudican la calidad paisajista del río Ichu, y también a las poblaciones que ocupan el recurso hídrico aguas abajo (Rivera, 2019).

El agua contaminada es producto del vertimiento de las aguas residuales, residuos sólidos, productos químicos y de los relaves mineros; que contribuyen a que el ciclo del agua pierda su capacidad de autolimpiarse, por consiguiente, son necesarios diferentes tratamientos para que sea apto para el ser humano. La complejidad de los procesos para el tratamiento del agua dependerá de las características del agua superficial a tratar; por ello, es imprescindible preservar la calidad del agua desde la fuente para evitar costos ecológicos, sociales y económicos. (Chulluncuy, 2011)

Los niveles elevados de la turbiedad pueden proteger a los microorganismos del proceso de desinfección y estimular la producción de bacterias e incrementar la demanda del cloro y en muchos casos las bacterias fecales y los patógenos aglomerados o absorbidos por las partículas no se destruyen. También diversas sustancias químicas peligrosas como metales pesados, órganos clorados y otros se unen sobre todo a los ácidos húmicos y otras partículas orgánicas (Marcó *et al*., 2004).

Entre los tipos de tratamiento primario se utiliza la coagulación - floculación, que se basa en la remoción, por medios físicos o químicos, de una parte esencial del material sedimentable, reduciendo la carga orgánica que representa el mayor porcentaje de sólidos contaminantes (Silva, 2017). En estos procesos, aparte de la remoción de turbiedad y color también se eliminan bacterias, virus, organismos patógenos susceptibles de ser separados por

coagulación, algas y sustancias que producen sabor y olor en algunos casos (Chulluncuy, 2011).

En las últimas décadas, se profundizó en el estudio sobre el uso de nuevos coagulantes inorgánicos y orgánicos. Diferentes estudios realizados han demostrado que el aluminio residual presente en el agua tratada para consumo humano con sulfato de aluminio es perjudicial para la salud, ocasionando efectos severos en el sistema nervioso central. Se estima una relación entre las concentraciones de aluminio en el organismo humano y los agentes etiológicos del mal de Alzheimer que ocasionan el envejecimiento prematuro. Por ello, nace la necesidad de analizar la efectividad de algunas especies de origen vegetal como coagulantes naturales para la potabilización del agua, por ser una alternativa potencial no aprovechado, además presentan una nula o mínima toxicidad; generalmente son alimentos con alto contenido de proteínas y carbohidratos solubles en agua. Algunos tienen propiedades coagulantes o floculantes que aglomeran las partículas en suspensión del agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares estos coagulantes naturales son utilizados en forma empírica para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados (Silva, 2017).

Como alternativa, para sustituir o ayudar a los coagulantes sintéticos, esta investigación plantea evaluar la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu, para posteriormente aplicarlo como coagulante natural en el tratamiento de agua potable y agua residual, obteniendo beneficios como: agua de calidad con menores efectos adversos en la salud de la población y disminución de costos en el tratamiento.

1.2. Formulación del problema

Según el planteamiento del problema, pretendemos responder a la siguiente interrogante como problema de investigación.

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica - 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (Opuntia ficus – indica) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica – 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosis óptima de coagulante natural de mucílago de nopal para la remoción de turbidez del agua del río Ichu.
- Determinar la turbidez de las muestras de agua del río Ichu después del tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal.
- Comparar la remoción de turbidez del agua del río Ichu con el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Ambiental

En el mundo se estima que más del 80 % de las aguas residuales (más del 95 % en algunos países en vías de desarrollo) son vertidas al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento. La contaminación del agua en los continentes de Asia, África y América Latina son cada vez más preocupante. Cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas en mares y océanos, afectando a los ecosistemas marinos en una superficie de 245.000 km^2, con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias (ONU, 2017).

La contaminación del agua provocada principalmente por vertimiento de aguas servidas, basura, relaves mineros y productos químicos; contribuyen a que el ciclo del agua pierda la capacidad suficiente para limpiarla, por consiguiente, son necesarios diversos procesos para desinfectarla y hacerla apta para consumo humano (Chulluncuy, 2011).

Actualmente, el sulfato de aluminio es uno de los coagulantes químicos más empleado para tratar el agua cruda derivado directamente de fuentes superficiales como ríos, lagos y manantiales. Presenta propiedades de aglomeración de solidos en suspensión presentes en el agua residual, facilitando la sedimentación y removiendo la turbiedad inicial. Sin embargo, el sulfato de aluminio genera lodos que no pueden ser aprovechados como biosólidos porque tienen un impacto negativo en los suelos y en el agua debido a su ecotoxicidad (Olivero *et al*., 2013).

La turbidez puede generar impactos negativos en los ecosistemas acuáticos, debido a que obstaculiza el acceso de la luz solar afectando la respiración, fotosíntesis y la reproducción de la vida en el agua. Por ello la turbiedad es considerada una excelente medida de la calidad del agua (González, 2011).

En la ciudad de Huancavelica, la inadecuada disposición de las aguas residuales municipales (principalmente materia fecal) y residuos sólidos (basura), que son vertidas al río Ichu sin tratamiento alguno, generan impactos ambientales que afectan la calidad paisajista del río Ichu y a los ecosistemas acuáticos.

1.4.2. Justificación Social

Científicos han intentado encontrar especies endémicas entre la fauna y flora que tengan la capacidad de eliminar las impurezas que se encuentran en el agua. Debido a que varios estudios han concluido que el aluminio residual presente en el agua tratada para consumo humano con sulfato de aluminio, puede ser perjudicial para la salud, ocasionando efectos graves en el sistema nervioso central, se estima una relación entre los agentes etiológicos del mal de Alzheimer y la concentración de aluminio en el organismo humano, ocasionando además envejecimiento prematuro (Silva, 2017).

El sulfato de aluminio, remueve los microorganismos y sólidos en suspensión entre 90 y 99% en condiciones óptimas. Sin embargo, puede generar consecuencias negativas a largo plazo por ser asimilado fácilmente por el organismo del hombre. Sus efectos son asociados con diferentes formas de cáncer, Alzheimer y enfermedades óseas. El aluminio en una concentración mayor a 0,1 mg/L en agua potable puede ser un factor de riesgo para la demencia, especialmente para el mal de Alzheimer (Olivero *et al*., 2013).

La turbiedad es un parámetro muy importante en la calidad del agua, es por eso que las entidades encargadas de suministrar agua de consumo humano, son exigidos en realizar tratamientos para remover la turbiedad. La Organización Mundial de la Salud (OMS), basándose principalmente en la característica física y estética del agua, recomienda un valor referencial de turbidez de 5 NTU, pero el valor más recomendable es 1 NTU. La turbiedad es un indicador, mas no ofrece un

resultado de un contaminante en específico. Sin embargo, informará del grado total de contaminación (OMS, 2015).

1.4.3. Justificación Económica

Es una alternativa potencial el coagulante natural que aún no es aprovechado lo suficiente. Actualmente, los investigadores están tomando mucho interés por su abundancia en la naturaleza, por ser económicos porque tienen un bajo costo, inocuidad, multifunción y biodegradación.

La complejidad de los procesos para el tratamiento del agua dependerá de las características del agua superficial a tratar; por ello, es imprescindible preservar la calidad del agua desde la fuente para evitar costos ecológicos, sociales y económicos (Chulluncuy, 2011).

1.5. Limitaciones.

Durante el desarrollo de la investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- El laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable – Millpo de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado EMAPA – Huancavelica, fue el único que contaba con el equipo de prueba de jarras en la ciudad de Huancavelica.
- El laboratorio general de la Universidad Nacional de Huancavelica, no contaba con equipos necesarios como el equipo de prueba de jarras y turbidímetro para la ejecución de la investigación.
- Asimismo, las restricciones dispuestas por el gobierno del Perú, debido a la emergencia sanitaria a nivel mundial ocasionado por la pandemia del virus COVID-19, limitaron la ejecución de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales:

Pulido (2020) en su investigación *Evaluación de la remoción de la turbidez del agua del río Fucha por medio del fruto de la planta arbustiva cactus (Opuntia ficus indica) como coagulante natural – Bogotá – Colombia,* evaluó el fruto de la planta arbustiva cactus (Opuntia ficus indica) como alternativa para el tratamiento de la turbidez del agua mediante el test de jarras, para cada polímero, se trabajó con un pH de remoción óptima en un rango de 6.0 a 8.0; a temperatura ambiente, empleó beaker con 800 ml de agua residual agregando Al_2 $(SO4)_3$, $FeCl_3$ y el fruto (en polvo) de la planta arbustiva Cactus (Opuntia ficus indica), a concentraciones de 0.0627 g/ml, 0.0771 g/ml y 0.0910 g/ml extraídos de una muestra madre a una concentración de 0.9 g/ml, disolvió 90 g de cada coagulante en 1000 ml de agua destilada, posteriormente, agitó la solución durante 20 minutos en una plancha con agitación magnética y finalmente realizó 6 réplicas por tratamiento, obteniendo como resultado del fruto Cactus (Opuntia ficus indica) un 76 % de remoción, reduciendo la turbiedad de 393 NTU a 93.3 NTU, el Al_2 $(SO4)_3$ obtuvo 94 % de remoción, reduciendo la turbiedad de 60.4 NTU a 3.28 NTU y el FeCl3 obtuvo 94 % de remoción, reduciendo la turbiedad de 117 NTU a 1.61 NTU.

Aguirre *et al.* (2018) en la investigación titulada *Sustancias naturales: alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia,* determinaron la capacidad como coagulantes naturales de Moringa, Cactus, Neem y Maíz en el tratamiento del agua del río Magdalena, la cual es consumida por las comunidades del

corregimiento de Palermo, en Colombia. Las dosis optimas se establecieron a través de la prueba de jarras, así como el tiempo y velocidad de floculación. El sulfato de aluminio (0.02 g L-1) fue utilizado como referente de control. Los resultados obtenidos demostraron que la Moringa (2 g L-1) removió la turbidez en un 96.8% y el color en 97.8% mientras que el control sulfato de aluminio removió un 95.7% y 96.5%, respectivamente. Por otro lado, se determinó que el tratamiento con Neem (0.8 g L-1) redujo el 99.4% de los coliformes totales y 99.2% de los coliformes fecales mientras que el Maíz (2.5 g L-1), logró reducir el 94.4% de los coliformes totales. Se concluye que el uso de estas sustancias naturales es una alternativa muy asequible y sostenible que se puede optar para la potabilización del agua del río Magdalena.

Vargas *et al.* (2018) en la investigación titulada *Mucilago de nopal y su aplicación en la obtención de biopolímeros,* estudiaron los polímeros naturales como una alternativa más sustentable y natural que complementan a los polímeros sintéticos se encuentra en una etapa temprana, pero de gran prosperidad, siendo el mucílago o baba de nopal una excelente opción para la obtención de biopolímeros con amplias aplicaciones industriales. La investigación, se centró en la extracción del mucílago de los cladiodos o pencas de nopal de las especies Opuntia Ficus – Indica donde se obtuvo un rendimiento de 0.472±0.01% y Opuntia Tehuacana que tuvo un rendimiento de 0.949±0.01%, todo ello con el objetivo de obtener los mejores rendimientos; de igual manera se realizó pruebas de caracterización del producto obtenido tales como adhesividad, pH, resistencia, solubilidad y determinación de peso molecular por viscosimetría capilar y la ecuación de Mark-Houwink. Se prepararon películas de biopolímero a base del mucílago obtenido, glicerol y agua, variando la concentración de glicerol.

Carrasquero *et al*. (2017) en la investigación titulada *Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (Sonalum tuberosum) y plátano (Musa paradisiaca) en la clarificación de aguas – Venezuela*,

evaluaron la eficiencia de remoción de turbidez y color utilizando coagulantes obtenidos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum)* y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) durante el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbidez. Se preparo soluciones de agua con turbiedades con valores iniciales de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 UNT. Se caracterizaron fisicoquímicamente las soluciones, los coagulantes se prepararon a partir de la cáscara de papa y residuos de plátano, se midió los parámetros: pH, color, turbidez, sólidos totales, disueltos y suspendidos. Para la determinar la dosis óptima se utilizó la prueba de jarras con soluciones de coagulantes preparadas utilizando dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L para cada valor de turbidez inicial. Las mayores remociones de turbidez utilizando las soluciones de coagulantes de cáscaras de papa y residuos de plátano fueron de 99,6 y 99,5% para una turbiedad de 200 UNT con dosis de 50 y 25 mg/L respectivamente. Para todas las pruebas de Jarras realizadas se obtuvieron valores de pH después del tratamiento dentro del rango establecido en la norma sanitaria venezolana vigente. Se concluyó que los coagulantes a partir de los residuos de origen vegetal pueden ser utilizadas en tratamientos de agua como alternativa frente a los coagulantes tradiciones de mayor uso.

Morejón (2017) en su trabajo de investigación *Utilización del mucílago de tuna (Opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi – Ecuador*, el objetivo principal fue mejorar la calidad del agua para consumo humano utilizando mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*), en este trabajo de investigación se utilizó el mucílago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en estado fresco con la finalidad de clarificar el agua para consumo humano en la comunidad de Pusir Grande, Provincia del Carchi. Las pruebas realizadas permitieron evaluar la eficacia del mucilago de nopal en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua residual, analizando los parámetros que intervienen en la clarificación del agua como la turbidez,

dureza, el pH, olor, sólidos disueltos totales, comparando con la Norma Técnica Ecuatoriana (Agua Potable Requisitos, NTE INEN 1 108:2011 Cuarta revisión 2011-06) en el agua de consumo. Se confirmo que el uso de mucilago de tuna en una relación volumétrica de 25% (25 ml) y 75 % (75 ml) agua a tratar, actúa en el proceso de coagulación- floculación demostrando el éxito del mucílago de tuna reduciendo la turbiedad a 5.89 y 11.46 NTU aprovechando la materia prima existente, así mismo mediante los valores determinados se demuestra una inversión mínima al emplear el coagulante natural frente a un coagulante químico.

Lozano *et al.* (2015) en la investigación titulada *El nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua – Colombia, e*valuaron la eficiencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario al sulfato de aluminio, en el proceso de clarificación de agua proveniente del río Magdalena. Como resultado al aplicar una máxima cantidad de 20 % de mucilago de nopal en la proporción de coagulante a una velocidad de agitación de 200 rpm la turbidez inicial del agua se reduce de 97.67 NTU hasta valores menores a 2 NTU, obteniendo eficiencias por encima al 50 % en remoción de turbidez, pero siendo la más efectivas con valores de 96 a 98 % de remoción. También lograron reducir totalmente el color hasta 0 UVC, llegando a la conclusión de que el mucílago de nopal al actuar como coagulante complementario al sulfato de aluminio mostró efectividad en la clarificación del agua.

Alcazar *et al.* (2015) en la investigación titulada *Aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna. (Opuntia ficus indica) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla – Bolivia*, el objetivo fue mejorar la calidad de aguas naturales de consumo en la localidad de Achocalla, mediante la aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (*Opuntia Ficus Indica*), como opción de un tratamiento alternativo

convencional. Se determinó que el coagulante extraído de (*Opuntia Ficus Indica*), presenta una alta efectividad como coagulante debido a su capacidad de remoción de la turbidez de las aguas naturales con turbiedad inicial de 75.5 NTU, presentando un porcentaje de remoción promedio del 93.15 % a 90.82 % para las muestras A y B respectivamente. e logró establecer que el coagulante no altera significativamente el pH del agua tratada, encontrándose dentro de los límites de la NB 512 en cuanto a este parámetro (6.5 - 9.0).

Vaca *et al.* (2014) en la investigación titulada *Aplicación del nopal (Opuntia ficus indica) como coagulante primario de aguas residuales – México,* evaluaron la efectividad del polvo seco de nopal (Opuntia ficus indica) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales, empleando pruebas de jarras. Las aguas residuales se caracterizaron obteniendo un pH de 6.8 a 7.1, una demanda química de oxígeno (DQO) inicial entre de 198 a 215 mg/L, un contenido de coliformes del orden de 5.1 x 106 UFC/100 ml y una turbiedad entre 289 y 367 UNT. Se utilizaron dosis entre 10 y 70 mg/L de polvo de nopal y el tiempo de agitación fue de 3 min a una velocidad de agitación de 150 rpm con tiempo de reposo de 30 min. La turbiedad se redujo desde 65 hasta 92% dejando turbiedades residuales cercanas a 30 NTU. Los organismos coliformes iniciales se redujeron en 3.8 Log, aunque este parámetro exigiría un tratamiento de desinfección posterior, porque no se alcanzarían los límites máximos permisibles que señala la Norma Oficial Mexicana respectiva. Se eliminó el 37.9% de la DQO, porcentaje adecuado para un tratamiento primario avanzado.

Díaz *et al.* (2014) en la investigación titulada *Eficiencia de la semilla Moringa oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú – Colombia,* evaluaron la eficiencia de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante y sus efectos sobre el pH y la alcalinidad. El resultado obtenido fue altas eficiencias de remoción de la turbidez que fueron mayores al 90 % y se lograron con dosis optimas

entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L de coagulante natural para turbiedades iniciales.

Rodríguez *et al*. (2014) en la investigación titulada *Optimización de la extracción del mucílago de nopal (Opuntia ficus-indica) – México*, el objetivo fue optimizar el método de extracción de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y poder determinar su composición química para su posible aplicación posterior. Las condiciones óptimas para un mayor rendimiento fueron una relación nopal/agua en una relación de 1:2 (w/v) por un periodo de calentamiento de 1 h a 80±2ºC, una relación de mucílago/etanol de 1:4 (v/v) y un pH del nopal de 4.45. así mismo se realizó los siguientes procesos como la limpieza del nopal, pelado y eliminado de espinas, cortado en trozos de aproximadamente de 2 cm, para posteriormente ser molido con agua a una relación de 1:2 (w/v), y calentado a 80±2ºC/1 h, centrifugación se realizó a 3500 rpm por un tiempo de 20 min, el sobrenadante se concentró a baño maría durante 150 min, y finalmente se precipitó con etanol al 96% en una relación de 1:4 (v/v). Concluyendo, que donde se optimizó el método de extracción de mucílago de nopal se obtuvo un rendimiento máximo de 0.5-0.6%.

Mabel *et al.* (2014) en la investigación titulada *Aplicación del nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante primario de aguas residuales – México,* evaluaron la efectividad del polvo seco de nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales, empleando pruebas de jarras. Las muestras de aguas residuales provenían del sistema de drenaje de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco caracterizado por tener un pH en el rango de 6.8 y 7.1, un contenido de coliformes del orden de 5.1 x 106 UFC/100 m, una demanda química de oxígeno (DQO) inicial en el rango de 198 a 215 mg/L y una turbiedad en el rango de 289 y 367 UNT. Se emplearon dosis de polvo de nopal entre 10 y 70 mg/L y el tiempo de agitación fue de 3 min a una velocidad de 150 rpm con tiempo de reposo de 30 min. La turbiedad final disminuyo desde 65 hasta 92%. Los

coliformes iniciales disminuyeron en 3.8 Log, aunque este parámetro determinados exigiría un posterior tratamiento de desinfección, pues no estarían dentro de los límites máximos permisibles que señala la norma oficial mexicana, se eliminó el 37.9% de la DQO, porcentaje adecuado para un tratamiento primario avanzado.

Gazabón *et al*. (2013) en la investigación titulada *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal (Opuntia ficus-indica) – Colombia*, demostraron que el mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica)* es eficiente como coagulante primario por remover la turbidez del agua entre 92,39 y 93,25%, sin antes haber simulado la fase de filtración del proceso de potabilización. El agua cruda tuvo como turbidez de 276 UNT, alejándose del valor máximo propuesto por la norma colombiana, el posterior tratamiento de la filtración ayudará en la remoción del material suspendido en el agua y cumplir posiblemente con el valor limite aceptado por la norma colombiana con respecto a la turbiedad.

Parra *et al.* (2011) en la investigación titulada *Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de Opuntia wentiana (britton & rose) / (cactaceae) – Venezuela*, demostraron la efectividad del coagulante extraído de la tuna *Opuntia wentiana (Britton & Rose)* en la clarificación del agua. Las aguas con valores de turbidez inicial entre 100 y 200 NTU tratadas con la mezcla mucilaginosa de *Opuntia wentiana* presentan porcentajes de remoción de la turbiedad antes de filtrar entre 41,47 y 94,84% con dosis óptimas de 700 ppm para 100, 120 y 160 NTU y de 600 ppm para 180 y 200 NTU.

Flores *et al.* (2006) en la investigación titulada *Evaluación preliminar de la reserva de nopal (Opuntia spp) en la región Laguna-Chihuahua – México*, demostraron que el extracto de nopal puede utilizarse a nivel local como coagulante primario en la clarificación de aguas para consumo humano, pudiendo remover más del 90% de la turbidez y 80% del color del agua, y que también es muy útil en la

remoción de coliformes, por lo que su aplicación en el control de la contaminación del agua en áreas rurales puede ser muy valiosa.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Guevara (2019) en la investigación titulada *Rendimiento floculante del mucílago de nopal (opuntia ficus-indica (l.) mill) y sulfato de aluminio en la clarificación del agua para consumo humano, Bagua, región amazonas, 2018*, según su trabajo el objetivo fue comparar el rendimiento floculante del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y sulfato de aluminio en la clarificación del agua para consumo humano. Se realizó un análisis físico – químico para determinar la turbidez inicial que tuvo un valor de 83 NTU, siendo las dosis usadas de 10, 20, 30, 50 y 70 ppm de mucílago de nopal, la mejor concentración para reducir la turbidez fue la dosis de 30 ppm logrando una remoción de la turbidez de 54.2 %, con respecto al sulfato de aluminio, donde las concentraciones fueron de 20, 25, 30, 35 y 40 ppm y la mejor concentración para reducir la turbidez fue la dosis de 40 ppm, logrando una remoción de la turbidez del 74.7 %, en conclusión el sulfato de aluminio tiene un mayor rendimiento en la remoción de la turbidez.

Lozano (2018) en su investigación titulada *Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018*, evaluó la efectividad de los procesos de obtención del floculante de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) para disminuir la turbidez en el río Chonta de Cajamarca. Los resultados muestran que el mucílago natural fresco del proceso de extracción removió en 82%, al tratar el agua de turbidez inicial de 55 NTU reduciendo su turbiedad a 10 NTU.

López (2018) en su investigación titulada *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas.* Donde evaluó la eficiencia del cactus Opuntia

ficus-indica empleado como coagulante natural con la finalidad de remover la turbiedad en muestras de agua sintética preparadas en laboratorio, obteniendo valores de turbiedades iniciales de 20, 50, 100, 300 y 500 UN, para ello se determinaron los parámetros óptimos del coagulante natural como dosis, pH y concentración, por cada nivel de turbidez. Asimismo, el coagulante natural fue comparado con el sulfato de aluminio en la variación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua como pH, conductividad, turbiedad y color. Los resultados indicaron que al aplicar el coagulante natural en la prueba de jarras se obtuvo una remoción de la turbiedad de rango de 58% al 86%, asimismo, las dosis óptimas para muestras de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT fueron 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L, respectivamente. Para muestras de turbidez baja de valor de 20 a 50 UNT, la concentración óptima fue del 2%; para muestras de turbiedad media de rango de 100 - 300 UNT fue del 1%; y para muestras de 500 UNT fue de 0.5%. El pH óptimo fue 9 para todos los niveles de turbiedad. De igual modo, se demostró que el sulfato de aluminio sigue siendo más eficiente en la remoción de turbidez a comparación con el cactus Opuntia ficus-indica, no obstante, este último alcanzó 86% de remoción de turbidez en muestras de 500 UNT, demostrando su eficiencia en muestras de turbidez alta. Se comprobó que el sulfato de aluminio es superior en la remoción del color, en comparación al coagulante natural, no obstante, con el sulfato de aluminio se observó un incremento considerable en la conductividad y la disminución del pH en las muestras y al emplear el cactus Opuntia ficus-indica no se evidenciaron variaciones significativas en la conductividad y pH final de las muestras.

Bravo & Gutiérrez (2016) en la investigación titulada *Remoción de solidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del rio Pollo en Otuzco empleando semillas de tara (Caesalpinia espinosa) en la región de Trujillo – Perú*; evaluaron la utilización de un floculante natural extraído a partir de semillas autóctonas de tara (C*aesalpinia espinosa)*

como un método de descontaminación de aguas de río. La eficiencia de la goma extraída de semillas de tara (C*aesalpinia espinosa)* evidencio remover la turbidez inicial de 42,6 NTU hasta valores mínimos de 8.92 NTU. La concentración óptima de coagulante – floculante extraído de las semillas de tara, para lograr mayor remoción fue de 300 ppm, a una velocidad de agitación de 200 rpm en un tiempo de 1 minuto y medio y la velocidad de agitación menor de 45 rpm fue durante un tiempo de 25 minutos. Llegando a la conclusión que el porcentaje de remoción de turbidez, bajo estas condiciones fueron hasta 79.06%.

Baltodano & Millones (2013) en la investigación titulada *Estudio de la concentración de mucilago de vegetales en la velocidad de floculación del relave de la concentradora Chotal – Motil, Trujillo – Perú*. Tuvo como objetivo principal estudiar la concentración del mucílago de vegetales en la velocidad de floculación del relave de la Concentradora Chota-Motil en el departamento de La Libertad - Perú, donde el mucilago de vegetal tuna (*Opuntia Ficus – Indica),* contiene las mismas propiedades del floculante sintético comercial Magnafloc E-10 a 1% y la velocidad de sedimentación óptima fue de 200 rpm, donde se realizó la separación sólida – líquido a 4ml de dosificación y el valor más óptimo de la turbidez del líquido sobrenadante fue de 12 NTU.

Apaza (2013) en la investigación titulada *Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa – Perú*, donde desarrolló una alternativa de tratamiento para la purificación de aguas destinadas para el riego de cultivos agrícolas. En la investigación menciona el experimento realizado en campo y en laboratorio. Este experimento abarca el análisis fisicoquímico de las aguas del río Chili, el desarrollo del sistema en laboratorio y el acondicionamiento del nopal en el terreno in situ. Al evaluar la capacidad de coagulante-floculante del extracto de nopal se logró disminuir la turbidez del agua hasta un valor de 18.34 UNT, y un pH de 7.11, utilizando una concentración al 80 %, lo cual

resulto favorable donde permitirá la purificación del resto de contaminantes mediante la filtración. Concluyéndose que al emplear este sistema se lograron obtener resultados efectivos. De igual manera resulta económico ya que los materiales empleados son relativamente baratos, por lo que esta tecnología es una alternativa para la purificación de aguas contaminadas.

Jiménez y Gina (2012) en la investigación titulada *Aplicación del mucilago extraído de nopal (Opuntia ficus - indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma Tacna – Perú*, donde evaluaron la eficiencia del mucílago extraído de nopal (Opuntia ficus-indica) como agente clarificante a una escala de laboratorio, preparándose aguas turbias artificiales con turbidez iniciales de 3,26 a .1 000 NTU. Los parámetros a medir fueron el pH y la turbidez de la muestra de agua y la dosis del coagulante (mucílago fresco y seco). Los estudios realizados mostraron que el mucílago fresco remueve la turbidez entre un 95,39% y 92,36% al tratar turbiedades iniciales altas y entre un 25 y 19% a tratar turbiedades medias y en el caso del uso de mucílago seco, presento remoción, pero menos eficiente. Para una turbiedad de 1000 NTU con una remoción de 98,39% redujo la turbiedad a 46.1 NTU con una dosis de 1 ml.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría de la coagulación del agua

A. Coagulación

La coagulación es el proceso de desestabilizar las partículas en suspensión, neutralizando sus cargas electrostáticas que hacen que los sólidos presentes en el agua se aglomeren unas con otras.

El objetivo de la coagulación es cambiar las propiedades de los elementos insolubles de modo que sean fácilmente separables (Cárdenas, 2000).

Los tamaños de las partículas son:

- Partículas suspendidas de tamaño $>10^{-7}$ m.
- Forman solución coloidal de tamaño entre 10^{-7} y 10^{-9} m.
- Son las que forman una solución verdadera de tamaño de $<10^{-9}$ m.

La coagulación consigue que el sistema sea variable en el resultado final de la agregación de la partícula.

B. Factores que influyen en el proceso

a. **Tipo y cantidad de coagulante**; aun cuando haya una relación entre dosis del coagulante y turbidez del agua bruta, se debe determinar la cantidad exacta a partir de ensayos (prueba de jarras) para evitar sobre dosificaciones que puedan quebrar la acumulación superficial.

b. **pH del agua**; hay un rango de pH para cada coagulante, donde se genera una floculación optima en menor plazo, debiéndose efectuar una dosis estimada siempre que sea posible en ese rango para optimizar el producto y el rendimiento.

c. **Tiempo de mezcla y floculación (periodo de coagulación)**; tiempo que transcurre entre la agitación final y la adición del

coagulante, con velocidad que envite sedimentar los flóculos formados.

d. **Temperatura del agua**; el tiempo de formación de coágulos depende de la temperatura (más fría, más tiempo).

e. **Agitación y presencia de núcleos**; sólidos en suspensión.

C. Mecanismos de funcionamiento de la coagulación

La desestabilización se logra obtener mediante lo siguiente.

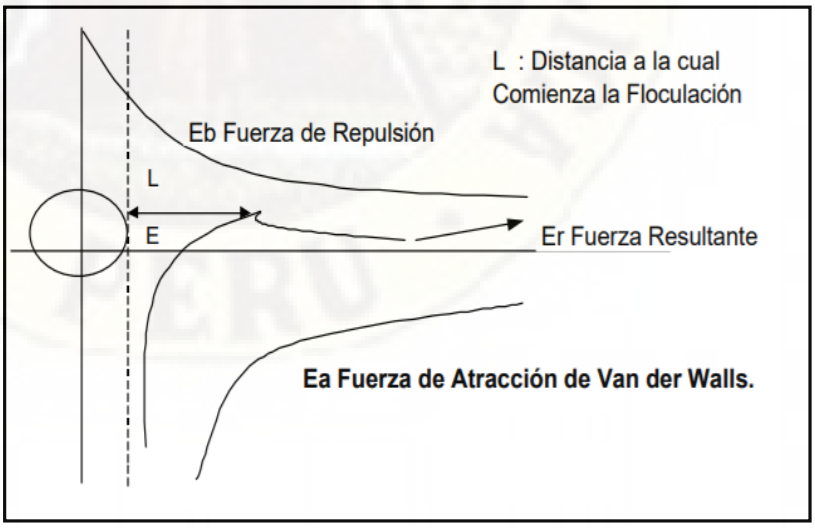
a. **Compresión de la doble capa**

Cuando dos (2) partículas similares se aproximan, sus capas interactúan y ocasionan fuerzas de repulsión que está en función a la distancia que los separa y genera un descenso debido al aumento de iones de carga diferente al de la partícula, esto solo se genera con los iones del coagulante.

De igual manera existe fuerzas de atracción entre las partículas, llamadas fuerzas de Van der Walls, que depende de la densidad y de los átomos presentes en la partícula.

Figura 1

Fuerza de atracción y repulsión



Fuente: Andia (2000).

Si L es superior, las partículas no se atraerán. Así mismo la energía representada por E es la que logra separarlos.

b. Neutralización y adsorción de cargas

En la superficie de las partículas coloidales se encuentran cargas negativas que son llamadas primarias y los iones positivos se ubican en la solución de agua, estas dos cargas se atraen formando la primera capa adherida al coloide.

Luego de la teoría de la doble capa; la coagulación se considera como la anulación del potencial obtenido a causa de la adición de productos que generan la coagulación – floculación. La fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es lo suficiente, es por eso que se requiere una energía que complemente la acción, en este caso se podría considerar la agitación hidráulica o mecánica.

La reestabilizacion de la carga de una partícula es causada por el exceso del coagulante en el agua, generando una carga contraria al original, debido a que la partícula absorbe el coagulante en su superficie.

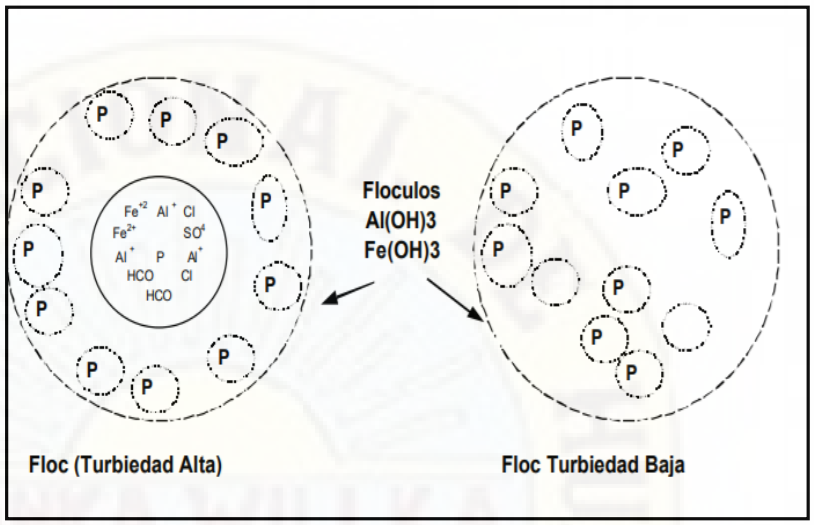
c. Atrapamiento de partículas en un precipitado

En el interior de un floc se puede quedar atrapado las partículas coloidales desestabilizadas, eso sucede al aumentar una cantidad suficiente de coagulantes, comúnmente es el Cloruro Férrico ($FeCl_3$) o sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, es por eso que el floc está conformado por moléculas de $Fe(OH)_3$ y $Al(OH)_3$.

Las partículas coloidales en la formación de flóculos juegan el de rol de anillo y con la presencia de ciertos aniones hacen que la formación del precipitado se acelere, este proceso puede generar una relación inversa entre el coagulante requerido y la turbiedad. Es decir, una gran cantidad de partículas en suspensión puede requerir una cantidad menor de coagulante.

Figura 2

Atrapamiento de las partículas en un floc.



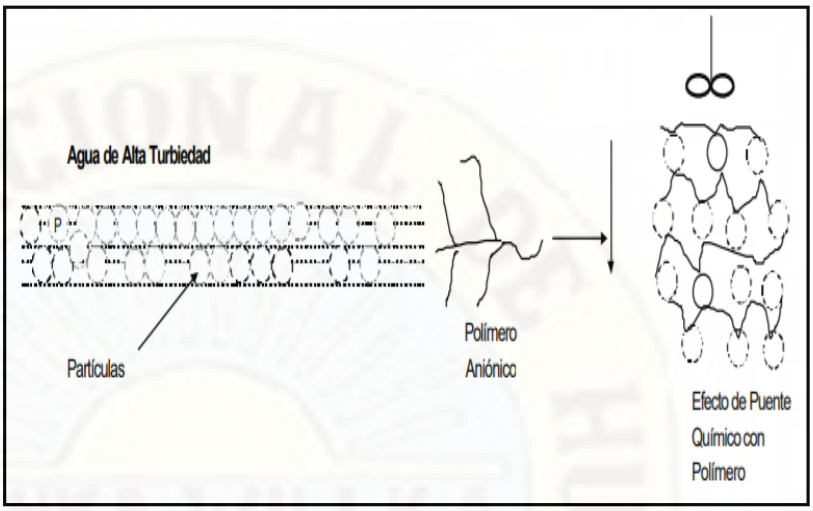
Fuente: Andia (2000).

d. Puente y adsorción

Utilizando polímeros aniónicos, se obtiene tratamientos más económicos porque las partículas están cargadas negativamente. "Este fenómeno es explicado por la teoría del puente". Los polímeros con moléculas muy largas tienen grupos químicos que en sus extremidades absorben partículas coloidales, y los sitios que están libres absorben otras partículas. Es por eso que se menciona que los polímeros a través de sus moléculas forman el "puente" entre las partículas coloidales.

Figura 3

Efecto del puente de las partículas en suspensión



Fuente: Andia (2000).

La reacción de los compuestos coagulantes con el agua implica:

- A causa del incremento de la concentración de especies iónicas se genera la desestabilización de partículas coloidales por comprensión de la capa doble.
- Desestabilización coloidal por reducción del potencial Zeta, a causa de la adsorción en la superficie coloidal de las especies iónicas polinucleares positivas (hidroxocomplejos).
- Aglomeración o coagulación por arrastre de partículas.

D. Dosificación

La dosificación del coagulante es variable en diferentes condiciones, es por eso que se necesita obtener un óptimo valor mediante pruebas hechas en el laboratorio.

2.2.2. Teoría de la floculación

La floculación es la acumulación de pequeñas partículas desestabilizadas llamadas micro flóculos y que a su vez estas forman

flóculos de mayor tamaño que mediante la acción de la gravedad tienden a descender y acumularse en la parte inferior de un recipiente, en este caso en los decantadores. Suele llamarse proceso de coagulación y floculación porque después de la coagulación se procede al proceso de la floculación, que hace que las partículas se unan entre si por estar neutralizadas las cargas electrostáticas.

Polielectrolitos

Los polielectrolitos son polímeros de origen sintético o natural con peso molecular alto, que al ser combinadas químicamente forman moléculas de mayor tamaño.

Los polímeros pueden clasificarse en:

- Naturales; son los almidones y sus derivados, así como ciertos compuestos proteínicos y polisacárido de compuestos celulósicos, que dan precipitados voluminosos que sedimentan más rápido.
- Sintéticos; son fabricados en laboratorios, presentan moléculas pequeñas de carga eléctrica polimerizada que forman cadenas largas.

2.2.3. Teoría de la sedimentación

Yactayo (2004) la sedimentación es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua y deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La sedimentación es un proceso físico, que consiste en el descenso de partículas en suspensión presentes en el agua, obteniendo al final un agua más clarificada.

- La gravedad es un fenómeno que ocurre de forma natural, donde las partículas que poseen mayor peso específico que el agua, son depositadas en el fondo de un recipiente o en este caso de un decantador. Estas impurezas naturales de las aguas pueden encontrarse en suspensión de acuerdo a su diámetro.

  Estos son:

- Partículas hasta diámetros de 10^{-4} cm; se encarga de eliminar partículas que tienen diámetros superiores a 10^{-4} cm, se le conoce como “sedimentación simple”.
- Coloides de 10^{-4} a 10^{-6} cm; consiste en la acumulación de coloides, con la finalidad de conformar flóculos que sedimenten por la acción de la gravedad.
- Soluciones de diámetros menores de 10^{-6} cm; consiste en la transformación de compuestos solubles en insolubles, para formar flóculos que puedan sedimentarse.

A. Sedimentación de partículas discretas

Se le conoce como “sedimentación o sedimentación simple” al depósito de partículas discretas que son aquellas que no modifican tamaño, densidad y forma, durante el proceso de sedimentación, este tipo de partícula y forma de sedimentar se encuentran presentes en decantadores, pre-sedimentadores y sedimentadores, se le considera como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta.

B. Sedimentación de partículas floculentas

Este tipo de partícula si cambian de tamaño, forma y densidad durante la caída y es causado por añadir agentes químicos que genera la acumulación de las partículas coloidales desestabilizadas. Este tipo de sedimentación, ocurre en el proceso intermedio de la coagulación-floculación y la filtración rápida para clarificar el agua.

C. Sedimentación por caída libre e interferida

Este proceso se le conoce como caída libre y se presenta en las concentradoras de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos, este proceso ocurre cuando la cantidad de partículas es baja, estas se sedimentan sin ninguna interferencia. Al contrario, sucede cuando la cantidad de partículas es alta, estas llegan a

ocasionar colisiones que las mantienen fija generando partículas con masa más compacta y consolidada ocasionando un depósito masivo.

D. Expresiones de velocidad de sedimentación

- **Partículas discretas con caída libre**

  El proceso de la sedimentación de las partículas discretas por caída libre, se le denomina también soluciones diluidas que puede escribirse por medio de la mecánica clásica.

$$V_s = \sqrt{\frac{4\,g}{3\,C_d}\,\frac{(\rho_S - \rho)}{\rho}\,x\,d}$$

Donde:

V_s = velocidad de sedimentación

g = aceleración de la gravedad

d = diámetro de la partícula

ρs = densidad de la partícula

ρ = densidad del fluido

"La expresión es conocida como Ley de Newton de la sedimentación y nos da el valor de la velocidad de sedimentación en función del diámetro de la partícula, las masas específicas del agua y la partícula y del Nº de Reynolds".

- **Sedimentación de partículas floculentas**

  En las aguas a tratar son removidas materiales orgánicas e inorgánicas donde su forma, tamaño y densidad influyen en su velocidad de sedimentación

  La turbiedad es originada por la materia en suspensión que está conformada principalmente por sílice dividida, limo y arcilla. Las partículas cuentan con una densidad cercana a 2.60, en cambio el color se genera a partir de ácidos orgánicos (húmicos, fúlvicos, etc.), de origen vegetal que dependiendo

de su concentración varia su densidad de 1 a 1.5. Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación (Yactayo, 2004).

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Calidad de aguas

Alcázar (2015) Este término es relativo, aludido a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por el aumento de la cantidad de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas; este es un término neutral por lo que no puede ser clasificado como bueno o malo sin antes hacer referencia al uso para el cual será destinado; por ejemplo, uso agrícola, agropecuario, de consumo humano, industrial.

Para decidir si la calidad del agua es apta, se debe mencionar que uso se le va dar a esta. La calidad de las aguas puede verse afectada por varios factores, llegándose a contaminar.

La contaminación del agua se define como la alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente (Alcázar, 2015).

A. Importancia del control de calidad de aguas

El control y evaluación de la calidad de agua se realiza usando técnicas analíticas y detalladas, porque podrían encontrarse ciertas sustancias que puedan generar variaciones en su calidad y que estas muchas veces resulta ser peligroso en la salud. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas (Doménech, 2002).

B. Parámetros de control de calidad del agua

El agua antes de ser distribuido en la población, primero debe cumplir ciertas reglas de control de calidad, con la finalidad de reducir o eliminar sustancias que puedan perjudicar la salud de la población. De esta forma se asegura que la población consuma un recurso hídrico inocuo.

La vigilancia de la calidad del agua para el abastecimiento a la población, comienza en el origen de la misma, es decir, en embalses, ríos y pozos, continúa durante su tratamiento en las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) y a través de su paso por la red de distribución hasta que llega al consumidor (Pradillo, 2016).

Se debe evaluar la situación en la que se encuentra el agua mediante los siguientes parámetros:

a. Color

Originalmente no cuenta con color el agua, pero debido a la presencia de ciertos materiales como el plancton, la turba y algunos metales como manganeso, hierro, cromo y cobre disueltos, hace que el agua puede estar coloreada levemente. La presencia de materia en suspensión causa un color que es llamado “color aparente” a pesar de estar relacionado con la turbiedad del agua, en muchos casos se considerada como una característica independiente.

Sobre el aspecto estético del agua, quitándole transparencia y se expresa en unidades de color [UCV]. Aunque no existe ninguna correlación entre el color y la contaminación, el usuario asocia su presencia con ella (McBride, 1998).

b. Olor

La presencia de olor, genera en el consumidor un rechazo, pero la falta de olor puede ser un indicador indirecto de la no contaminación del agua, suponiendo así la ausencia de compuestos fenólicos. Por otralado, el olor a sulfuro de

hidrógeno puede ser indicio de una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser o compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas, o provenir de descargas de desechos industriales (Pradillo, 2016).

c. Sabor

En realidad, el agua pura es insípida, pero hay algunas aguas provenientes de fuentes específicas que tienen sabor que los caracteriza, es el caso del agua mineral y de deshielo cuyo sabor es causado por los minerales disueltos que están presentes en ella. La detección de mucho sabor a cloro en el agua o incluso de otro tipo de sabores podría ser un indicador de que se trata de agua de mala calidad (DIGESA, 2016).

d. Turbiedad

Se entiende por turbiedad a la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión (Briones y Milagros, 2018).

Mientras más cantidad de sólidos en suspensión se encuentren en el agua, más contaminada será y la turbiedad será más alta pero su calidad será menor.

Las causas principales por la que se genera la turbiedad en el agua son: el crecimiento de microorganismos, la erosión causada por las corrientes y los desechos industriales y domésticos.

La turbiedad es un parámetro importante y un indicador para considera si el agua está contaminada, considerando la presencia de microorganismo o sustancias que puedan provocar daños a la Salud. Los sólidos y partículas suspendidas en el agua actúan como un medio portador de virus, bacterias, parásitos y gérmenes. Además, suelen actuar como escudo protector en

contra de la acción del "cloro", incrementando las concentraciones para obtener el mismo efecto de desinfección en el agua. Los límites de turbidez legalmente establecidos están pensados para garantizar un agua visual e higiénicamente perfecta (Briones y Milagros, 2018).

C. Tratamiento de aguas residuales y turbidez

Anteriormente el control y calidad del agua se basaba netamente en la turbiedad, es por eso que se considera actualmente como un parámetro principal a medir en las aguas, verificando que sus valores se encuentren dentro de las normas vigentes que las regula, es decir su valor tiene que ubicarse entre 0 NTU y 50 NTU, con precisión de ±3 NTU. Vigilando el nivel de turbidez, se puede determinar si las diferentes fases del proceso, en particular los de filtrado y purificación, se han llevado a cabo correctamente (Ramalho, 1996).

D. Solución para medir la turbidez

Hay dos normas diferentes que deben cumplirse: la USEPA y los Métodos Estándar, que recomiendan una longitud de onda concreta en la zona visible del espectro y el sistema europeo, que requiere un emisor de rayos infrarrojos (ISO 7027). Para satisfacer estos requisitos, se desarrollan productos que cumplen una de las dos normas, incluso productos que cumplen ambas normas (Chicoma y Vigo, 2018).

La turbiedad es de importante en las aguas por las siguientes razones:

a. **Estética:** la presencia de turbiedad en el agua, genera al consumidor un rechazo inminente y sin deseos de consumirla
b. **Filtrabilidad:** el aumento considerable de la turbiedad hace que la filtración sea más complicada y que su costo aumente.
c. **Desinfección:** una turbiedad elevada es un indicador que posiblemente haya presencia de microorganismos y material

orgánicos que hacen que la cantidad de ozono o cloro utilizados en la desinfección de las aguas aumente.

d. pH: se podría mencionar que el pH no tiende a generar efectos directos en la salud, sin embargo, influye en el tratamiento del agua como en la coagulación y la desinfección. Normalmente las aguas naturales tienen un pH de 5 a 9, existiendo intervalos de pH que favorece la coagulante, normalmente medios alcalinos actúan mejor.

2.3.2. Nopal (Opuntia ficus - indica).

A. Procedencia del nopal

El nopal (*Opuntia spp.),* es una cactácea que normalmente se ubican en lugares semiáridas y áridas, con mucha diversidad en especies que se encuentran distribuidos en todo el territorio de México. Es considerado como un producto alimenticio por su alta composición nutricional y es utilizado como opción de forraje en zonas desiertas. Por otra parte, es utilizado en la medicina tradicional por contener propiedades medicinales para el control de la diabetes, como antiviral, antioxidante, anticolesterolémico y anticancerígeno. Las propiedades del nopal requieren una mayor investigación especialmente en la fitoquímica de la planta como en los mecanismos de acción involucrados en su uso. El presente documento, presenta una reflexión sobre lo mucho que se le atribuye al nopal y lo poco que se ha documentado científicamente sobre el mismo (Torres *et al*., 2015).

El aprovechamiento y cultivo del nopal da inicio en las antiguas civilizaciones mesoamericanas a través de su importancia en la vida social, religiosa y económica que determinó las rutas migratorias de las tribus. Los nómadas de América, los asentamientos humanos en el centro de México formaron parte del escudo de Tenochtitlán, símbolo que se mantiene hasta hoy “escudo

mexicano”. El nopal utilizado en México tiene evidencias fechadas hace 7 000 años en semillas, cáscaras de tuna y fibras de pencas de nopal fosilizadas, encontradas en excavaciones realizadas en Tehuacán, Puebla (Sáenz y Berger, 2006).

El país de México es considerado como en centro de origen del nopal y de sus especies que son fueron distribuidos en todo América. Mediante los conquistadores las diferentes variedades fueron trasladadas a Sudamérica y a todo el mundo. En la actualidad las plantas del género Opuntia son nativas de varios países, encontrándose en lugares desiertas hasta en lugares de gran altitud como es el caso de los andes del Perú.

En el Perú el origen del nopal se atribuye al uso de la cochinilla (Dacty/opius spp.). Este insecto, cuya hembra ha sufrido cambios en su morfología para poder adaptarse a una vida sésil sobre el cactus, es común en el continente americano las cactáceas fue de importancia en las culturas prehispánicas, utilizado para el teñido de tejidos y fibras.

Actualmente se encuentra de forma cultivada en el sur de España y en toda la cuenca del Mediterráneo como en Grecia, Francia, Turquía, Italia e Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Marruecos, Etiopía, Túnez y Libia. No obstante, su distribución sigue siendo mayor en el Continente.

La planta y su fruto son nombrados segun los países en los que se ubican. El nombre original de la tuna en la lengua náhuatl es. "nochtli". Sin embargo, los españoles rebautizaron al nopal con el nombre de chumbera y la fruta como higo de las Indias, en la actualidad, higo chumbo, en Francia le llaman "figue de Barbarie", en Italia se conoce como "fico d'lndia" y en Estados Unidos de América y Sudáfrica "prickly pear", (nombre que está evolucionando actualmente a "cactus pear", a fin de eliminar el

término considerado algo peyorativo de prick/y, espinoso); en Israel se conoce como "sabrás", que significa espinoso por fuera pero dulce por dentro. En Eritrea y Etiopía son llamados "beles". En la India se conocen según las lenguas locales como "nagpháni", "anda torra" o "chapathi Balli". En Brasil, como "palma forrageira", ya que se cultiva principalmente para la producción de forraje (Sáenz y Berger, 2006).

B. Clasificación botánica del nopal

El nombre científico le fue asignado por Tourneforten en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de Opus en Grecia (Sáenz y Berger, 2006).

sólo se encuentran 10 o 12 especies del género Opuntia, las que se ubican como especies cultivadas son las Opuntia ficus-indica, Opuntia megacantha, Opuntia amycaea, Opuntia streptacantha, Opuntia xoconostle; y como especies silvestres están las Opuntia robusta, Opuntia eucotricha y Opuntia hyptiacantha. La más cultivada en distintas partes del mundo es Opuntia ficusindica. Las características de estas especies son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos, entre otras (Castillo, 2014).

C. Taxonomía

Se muestra a continuación la clasificación taxonómica del nopal (*Opuntia ficus-indica).*

Tabla 1

Taxonomía del nopal (Opuntia ficus-indica)

Taxonomía	
Reino	Vegetal
Sub Reino	Embryophita
División	Angioespermac

Clase	Dycotyledonea
Sub Clase	Dialipetalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Sub Familia	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae
Genero	Opuntia Nopalea

Fuente: Barrientos (1983)

D. Aprovechamiento del nopal (*Opuntia ficus – indica*)

Sáenz & Berger (2006) en la actualidad, el nopal tiene diversos usos entre los que se encuentran los siguientes:

- Como planta medicinal; se ha comprobado que los nopalitos y las cáscaras de la tuna ácida (xoconostle) reducen los niveles de colesterol y azúcares en la sangre, por lo que su consumo en fresco, cocinado y procesado industrialmente se ha aumentado.
- Como materia prima para elaborar bebidas alcohólicas; en México y en diferentes países de América es utilizado el nopal sobre todo su fruto para fabricar bebidas alcohólicas.
- Como materia prima en la producción de cosméticos; el uso de nopal en diferentes países es utilizado para la fabricación de diferentes cosméticos como jabón, champú, etc.
- Para la conservación del suelo; el nopal en diferentes países es de importancia, utilizado mayormente para la protección de suelo de la erosión eólica o hídrica, así evitar la desertificación en zonas áridas, así mismo se caracteriza por su sobrevivencia en lugares de pobre precipitación y alta oscilación térmica.
- Agroindustria de alimentos para animales; se transforman en suplementos para animales a través de la industria procesadora de tuna, mayormente se utiliza cáscaras y las semillas.

- Otra propiedad distinta es la que se atribuye al nopal como repelente de insectos, aunque no se conocen estudios científicos acerca de esta acción; un producto que con estos fines habría sido probado con éxito en la isla de Roatán, Honduras, está siendo elaborado en Texas, patentando, y se ofrece a través de Internet (Sáenz y Berger, 2006).
- Otros usos populares a los que actualmente se les está estudiando su base científica, son la utilización de las pencas en la clarificación de aguas (Lopez, 2000).
- Su adición a la cal como adherente en pinturas o su introducción en el suelo para aumentar la infiltración de agua (Julio, 2015).

A continuación, se presenta la composición química de la penca de nopal.

Tabla 2

Composición química de la penca de nopal (Opuntia ficus-indica)

Componentes	**Penca**
Energía (Kcal)	27-37
Proteínas (Mg)	1,1- 1,7
Carbohidratos (G)	5,6 -8,8
Cenizas (G)	0,9
Calcio(Mg)	93 - 110
Fósforo (Mg)	20
Hierro(Mg)	0,5
Vitamina A (Jlg)	41-50
Tiamina (Mg)	0,04
Rlboflavina (Mg)	0,04
Miacina (Mg)	0,2
Vitamina C (Mg)	19

Fuente: SARH (1987) citado por (Silva, 2017)

E. Gomas y mucílago de nopal

Jiménez & Gina, (2012) Estas sustancias se disuelven en agua para dar soluciones mucilaginosas o geles que son ampliamente usadas como adhesivos o agentes aglomerantes. La parte viscosa del mucílago es una sustancia originada por la misma planta, se obtienen de la exudación del tronco, frutos o ramas después de una herida provocado por un objeto o por la remoción de alguna rama o invasión de insectos.

Las gomas también se generan del metabolismo normal de las plantas. Según parece que son generados por algún mecanismo de protección que tiene como función sellar la herida generada.

F. Mucílago de nopal

El nopal está caracterizado por la producción de un hidrocoloide comúnmente conocido como mucílago, el cual forma redes moleculares capaces de retener gran cantidad de agua (Alcázar *et al*., 2015).

El mucílago es un polisacárido fibroso de una forma altamente ramificada, con alto contenido de azúcar y material pegajosa que es difícilmente manejada, así mismo las moléculas de mucilago contienen alrededor de 30000 subunidades de azucare. Los azúcares más abundantes tienen cinco o seis átomos de carbono y son los siguientes: arabinosa, galactosa, ramosa y xilosa (Vargas *et al.*, 2016).

Se ha observado que los derivados de los azucares difieren mayormente en el cactus, así mismo el mucilago cuenta con sacáridos, maltosa y fructosa. De esta manera, el gel del cactus contiene polisacáridos de varios tipos y composición, así como proteínas (caballero, 2008).

G. Coagulación

El término coagulación se deriva de la palabra latina *coagulare* que significa "recolectar". Es el proceso de desestabilización de la partícula, debido a la adición de un coagulante y su posterior mezclado, ocasionando que la fuerza que los separa se neutralice. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo (Cárdenas, 2000).

a) Mecanismos de coagulación

- **Modelo físico o de la doble capa**

  Esta acción ocurre cuando dos partículas semejantes están a una distancia mínima, sus capas difusas interactúan generando una fuerza de repulsión; cuya fuerza se da en función a la distancia que se encuentran entre sí, cayendo con el aumento de los iones de carga que son opuestas al de la partícula.

- **Modelo químico o de puente químico**

  Esta teoría es cuando una molécula polimérica unida a la superficie de coloide en uno o más sitios, mientras el resto de los sitios de adsorción están vacantes, los que pueden ser ocupados por otros coloides generando así un puente químico. Esto genera un aumento de tamaño y la consiguiente precipitación.

b) Factores que influyen en la coagulación

- **Acidez o basicidad:** el rango de pH, está dada dependiendo al tipo de coagulante que se utilizara para tratar el agua, si el coagulante es vertido fuera del rango del pH, será necesario incrementar el coagulante que ocasionará que la dosis sea muy alta.
- **Influencia de las sales disueltas:** las sales influyen en el proceso de la coagulación y floculación, generando que el

rango de pH óptimo, el tiempo y la cantidad de coagulantes varíen.

- **Temperatura del agua:** la variación de la temperatura influye severamente en la formación de los flóculos, es decir un incremento de la temperatura, acelera la coagulación y floculación.
- **Tipo de coagulante utilizado:** mediante la prueba de jarras se puede determinar la cantidad optima y el tipo de coagulante que mayor eficiencia presenta.
- **Concentración de los coagulantes:** el exceso produce una inversión del potencial zeta, actuando de manera contraria a lo que se observa inicialmente.

H. Floculación

Floculación se deriva del latín, de la palabra *f/occu/us* que significa "formar grumus, espesar". La floculación prosigue después de la coagulación, consiste en que la masa coagulada después de la agitación, se aglomere formando flóculos de gran tamaño y puedan descender con mayor facilidad. Estos flóculos, inicialmente pequeños crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Cárdenas, 2000).

La floculación puede dividirse en dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinética, dependiendo al tamaño de las partículas desestabilizadas “en general, todas las partículas se ven afectadas por ambos mecanismos”. Las partículas pequeñas (< 1lJm) están sometidas a floculación pericinética, originada por el movimiento browniano, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética (Jiménez y Gina 2012).

a) Floculación ortocinética

Consiste en el choque de las partículas a causa de la agitación inducida por una fuerza exterior que podría ser hidráulico o mecánico. Después de que se genere la coagulación del agua con las partículas se originara la aglutinación de los micro flóculos, pero en primer lugar debe producirse la floculación pericinética y luego recién se produce la floculación ortocinética.

b) Floculación pericinética

Este tipo de floculación ocurre dentro del líquido al momento de la agitación ocasionado por la gravedad "peso de las partículas" o el "movimiento browniano, movimiento constante e irregular de los coloides" que al descender se aglomeran en un tiempo muy corto por encontrarse desestabilizadas las partículas.

c) Tipos de flóculos

- **Flóculo dendrítico;** se origina a causa de una correcta agitación, este tipo de floculo además de contener gran cantidad de impurezas, es mucho más denso y resistente que hace que sedimente con facilidad.
- **Flóculo grumoso;** es el flóculo que se produce por una agitación deficiente.

I. Prueba de Jarras

Acosta (2008) Para el proceso de coagulación-floculación es necesario determinar la cantidad del coagulante a agregar al agua, para ello se tiene que hacer un ensayo conocido como "prueba de jarra" o Test de Jarras. La prueba de jarras es mayormente utilizada en los laboratorios simulando el proceso de coagulación y floculación teniendo la función de hallar las condiciones óptimas del coagulante a utilizar, permitiendo efectuar diferentes variaciones en las dosis de los polímero o coagulantes, alternando velocidades de

mezcla a pequeña escala, con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a mayor escala de tratamiento.

La prueba de jarra contiene seis recipientes con sus respectivos remos, de capacidad de 2 litros (L) preferentemente o de 1 L alternativamente. No se debe usar recipientes pequeños, debido a que puede generar imprecisión en la dosificación de pequeños volúmenes de coagulantes. Presenta un medidor de revoluciones por minuto 30 (RPM) el cual permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores (Acosta, 2008).

2.4. Definición de términos

- **Acido:** Un ácido es cualquier compuesto químico que, cuando se disuelve en agua, produce una solución con una actividad de catión hidronio mayor que el agua pura, esto es, un pH menor que 7 (Félez, 2009).
- **Agua tratada:** Es el tratamiento del agua por medio de diferentes procesos que incluyen como mínimo a la desinfección y cuya calidad ha sido modificada, así mismo su calidad debe ajustarse a las normas vigentes (Martínez & González, 2012).
- **Agua potable:** Es el agua para consumo humano, el cual cumple ciertas condiciones recomendables y límites máximos permisibles para no causar daño en la salud. El agua potable es toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad con las características físicas, químicas y microbiológicas aptas para el consumo humano, establecidas por el reglamento – DIGESA (DIGESA, 2016).
- **Alcalino:** Son substancias de compuestos químicos que, al disolverse en agua, aumentan la concentración de iones OH– e pH les corresponden del número 6 o 7 al 12 (Lozano, 2018).
- **Calidad de agua:** Depende exclusivamente del uso que se le va dar, el cual será comparada con la normativa vigente o con los estándares de calidad verificando sus niveles de concentración de sus características físicas y químicas. En el caso del agua para consumo humano, los

estándares de calidad son utilizados para asegurar un abastecimiento de agua limpia, comestible y utilizada por la población. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos (ONU, 2015).

- **Color:** el color es una propiedad física de la luz reflejado y adsorvidos por los objetos. En la química lo describen por medio de una fórmula que representa una reacción de elementos (Lozano, 2018).
- **Conductividad:** Es causado por electrolitos que están disueltas en el agua, la conductividad en el agua pura es baja "unas pocas centésimas de μS/cm". Por otro lado, se entiende que exista una relación entre ella y la cantidad de los electrolitos que contiene, ósea, su residuo seco. Concretamente, en un agua natural no muy contaminada, se cumple que el valor del residuo seco en mg/l oscila entre 0.5 y 1.0 veces el valor de conductividad, expresada en μS/cm (Lozano, 2018).
- **Contaminación del agua:** Es consecuencia de la modificación de sus características, químicas, físicas, y microbiológicas, ocasionado por la intervención del hombre y en algunos casos se da de forma natural.
- **Filtración:** la filtración es por excelencia el proceso de separación de sólido líquido de acabado (Gomella & Guerrée, 1977).
- **pH:** La acidez o basicidad de una solución depende de la cantidad de iones de hidrógeno o iones – OH, la concentración de iones de hidrógeno es un indicador no solamente para una reacción ácida sino también para una reacción básica, porque existe una relación simple entre concentración de H+ u iones OH (Chile, 1975).
- **Polímero:** Al hablar de polímeros (poli electrolitos), se está hablando de una gran molécula construida por el encadenamiento de pequeñas unidades químicas simples; en algunos casos la cadena es lineal, de forma semejante a como una cadena la forman sus eslabones, en otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas, formando retículos tridimensionales (Goycoolea *et al.*, 2004).

- **Prueba de Jarras:** La prueba de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinaciones (Lozano, 2018)
- **Temperatura:** La temperatura es el grado en centígrado o grado Celsius °C, se define como la centésima parte del intervalo de temperatura existente entre el punto de congelación y punto de ebullición del agua pura a presión atmosférica normal, el cero de la escala coincide con el punto de congelación del agua. La temperatura superior son positivas y las inferiores son negativas (Güeto, 2005).
- **Turbiedad:** Es el efecto óptico causado por la dispersión y absorción de los rayos luminosos que pasan a través de un líquido que contiene pequeñas partículas en suspensión. La turbiedad en el agua resulta de la presencia de materiales sólidos u opacos que dicho líquido transparenté de por sí, mantiene en suspensión (Alcántara, 1999).
- **UNT:** Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La aplicación del coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) manifiesta una eficiencia mayor al 60% en remoción de la turbidez del agua proveniente del río Ichu. Huancavelica – 2019.

2.5.2. Hipótesis Específicas

- La dosis óptima de coagulante natural de mucilago de nopal es mayor a 30 ml/L.
- La turbidez del agua del río Ichu después del tratamiento con mucílago de nopal presenta una remoción mayor a 5 NTU

- La comparación de la remoción de la turbidez del agua mediante el mucilago de nopal y el sulfato de aluminio es mayor a 99.5%.

2.6. Variables

2.6.1. Variable independiente

Dosis óptima de coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica*).

2.6.2. Variable dependiente

Eficiencia de remoción de turbidez del río Ichu.

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Variable Independiente Dosis óptima de coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus - indica*).	Coagulante natural: solución de Polímero natural extraído de la penca de nopal (tuna) en agua, presenta propiedades como coagulante-floculante, generalmente empleada durante el tratamiento primario del agua. La dosis óptima: es la dosis más eficiente de coagulante en la remoción de turbiedad del agua cruda (Quispe, 2012).	La dosis óptima de coagulante de mucílago de nopal fue determinada por medio de la "Prueba de jarras", se consideró la dosis más eficiente de coagulante para remover la turbiedad inicial.	Fórmula para hallar la eficiencia. Eficiencia = (Ti – Tf) /Ti x 100% Dosis de coagulante de nopal. (1 ml/L – 60 ml/L)	• Dosis óptima: dosis más eficiente de coagulante para remover turbiedad inicial ≥ 30 ml/L. • Dosis no óptima: dosis poco eficiente de coagulante para remover turbiedad inicial < 30 ml/L.	ml/L (mililitros de coagulante de nopal por litro de agua).	Cuantitativo Ficha de recolección de datos.
Variable Dependiente Eficiencia de remoción de la	Eficiencia: Es la capacidad de rendimiento que dispone un sistema para lograr un efecto deseado o esperado.	La eficiencia se determinó teniendo en cuenta la capacidad de remoción de	Fórmula para hallar la eficiencia. Eficiencia =	• Eficiente: ≥ 60% de remoción de turbidez.	% (porcentaje de eficiencia de remoción de turbiedad)	cuantitativo Ficha de recolección de datos.

turbidez del río Ichu.	También se podría definir como la capacidad de productividad de un determinado sistema. Remoción de la turbiedad: Corresponde a un valor porcentual de la transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión (Lao y Del Aguila, 2019).	turbiedad que presenten las dosis de coagulante natural a evaluar, según superen o no el 60 %. Se empleó la fórmula que relaciona la turbiedad inicial y la turbiedad final.	(Ti – Tf) /Ti x 100%	• No eficiente: < 60% de remoción de turbidez.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

Esta investigación inició en el mes de noviembre del año 2019 con la elaboración del proyecto de tesis, fue ejecutada en el mes de marzo del año 2020 considerando la época de avenida, donde se obtuvieron valores de turbiedad inicial entre un rango de 1561 a 1568 NTU.

La investigación tuvo una duración total de 12 meses, la cual culminó en el mes de noviembre del año 2020.

3.1.2. Ámbito espacial

El área de investigación se situó en la captación de agua del río Ichu de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado EMAPA – Huancavelica, ubicado en el sector denominado Punco Punco; región, provincia y distrito de Huancavelica, comprendido en las coordenadas UTM 858275 N - 492096 E, a una altitud de 3,967 m.s.n.m.

Figura 4

Ubicación geopolítica del distrito de Huancavelica

Fuente: Google Earth, (2020)

Figura 5

Ubicación del punto de extracción de muestras

Fuente: Google Earth, (2020)

3.2. Enfoque de investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque la ruta cuantitativa es apropiada cuando queremos estimar las magnitudes u ocurrencia de los fenómenos y probar hipótesis. (Hernández y Mendoza, 2018)

3.3. Tipo de investigación

Para Gonzales *et al*. (2011) la investigación aplicada depende de los avances y descubrimientos de la investigación pura y se enriquece de ellos, persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías.

Por lo tanto, esta investigación es de tipo aplicada porque busca validar la eficiencia del mucílago de nopal *(Opuntia ficus- indica)* para su uso como agente clarificante natural eliminando la turbidez del agua.

3.4. Nivel de investigación

Para Gonzales *et al*. (2011) la investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante las relaciones de causa y efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de

las causas (investigación postfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

Por lo tanto, esta investigación es de nivel explicativo porque busca validar la eficiencia de remoción de turbiedad del coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus- indica*).

3.5. Método de investigación

El método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado por ser tentativos y verificables de razonamiento riguroso y observación empírica, para descubrir nuevos conocimientos para comprobar o desaprobar hipótesis que implican o predican conductas de fenómenos desconocidas (Tamayo, 2004).

Según Hernández y Mendoza (2018) los estudios explicativos van más allá de la descripción de fenómenos, conceptos o variables o del establecimiento de relaciones entre estas; están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos de cualquier índole (naturales, sociales, psicológicos, de salud, etc.). Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.

Por lo tanto, este trabajo de investigación empleó el método explicativo.

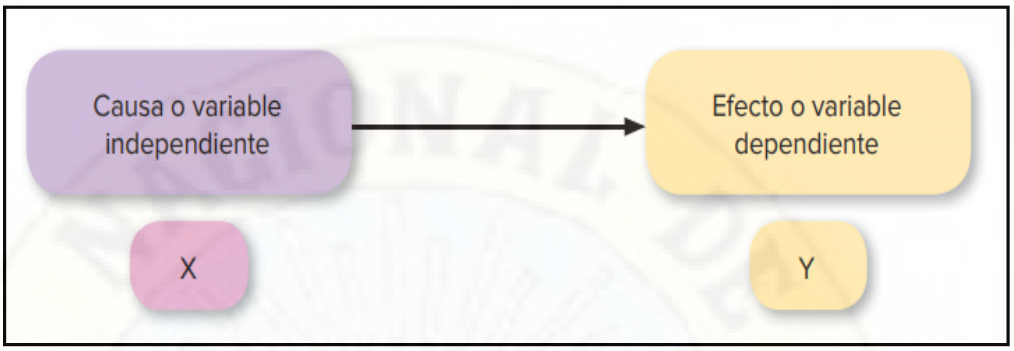
3.6. Diseño de investigación

Para Hernández y Mendoza (2018) Los diseños experimentales manipulan y prueban tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control.

Por lo tanto, esta investigación empleó un diseño experimental.

Figura 6

Visualización o esquema gráfico de un experimento



Fuente: Hernández & Mendoza, (2018)

Diseño experimental completamente aleatorizado (DCA)

Gutiérrez y Salazar (2012) muchas comparaciones, se hacen con base en el diseño completamente al azar (DCA), que es el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o más tratamientos. Todos los tratamientos experimentales se realizan en orden aleatorio; por lo tanto, se considera que es un diseño eficiente cuando las unidades experimentales de las que se dispone son muy homogéneas.

El modelo de diseño de la investigación es un diseño experimental completamente al azar (DCA).

$$Y_{ij} = \mu + D_i + E_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij} = eficiencia\ de\ remoción\ de\ turbiedad$
- $\mu = media\ experimental$
- $D = dosis\ de\ coagulante\ a\ base\ de\ mucílago\ de\ nopal$ (1,2,3,4,5,6)
- $E_{ij} = error\ experimental$ (0.05%)

Figura 7

Modelo general del Diseño Completamente aleatorizado

		Tratamientos							
		Dosis de coagulante a base de mucílago de nopal ml/L							
		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	…	D_k
Replicas	**1**	$Y_{1\,1}$	$Y_{2\,1}$	$Y_{3\,1}$	$Y_{4\,1}$	$Y_{5\,1}$	$Y_{6\,1}$	…	$Y_{k\,1}$
	2	$Y_{1\,2}$	$Y_{2\,2}$	$Y_{3\,2}$	$Y_{4\,2}$	$Y_{5\,2}$	$Y_{6\,2}$	…	$Y_{k\,2}$
	3	$Y_{1\,3}$	$Y_{2\,3}$	$Y_{3\,3}$	$Y_{4\,3}$	$Y_{5\,3}$	$Y_{6\,3}$	…	$Y_{k\,3}$
	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	n	$Y_{1\,n}$	$Y_{2\,n}$	$Y_{3\,n}$	$Y_{4\,n}$	$Y_{5\,n}$	$Y_{6\,n}$	…	$Y_{k\,n}$

3.7. Población, muestra y muestreo

3.7.1. Población

Para Gonzales *et al*. (2011) La población o universo es el conjunto de individuos que comparten por lo menos una característica. En una investigación la población está dada por el conjunto de sujetos al que puede ser generalizado los resultados del trabajo.

Para la investigación, se consideró como población 150 L/s, el caudal de captación de agua del río Ichu de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado EMAPA – Huancavelica, ubicada en el sector denominado Punco Punco; en el mes de marzo del año 2020, comprendida en las coordenadas UTM 858275 N - 492096 E a una altitud de 3,967 m.s.n.m.

Figura 8

Ubicación del punto de muestreo en las coordenadas UTM 858275 N 492096 E y altitud 3,967 m.s.n.m

3.7.2. Muestra

Según, Gonzales *et al*. (2011), la muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de esta, sin embargo, posee las principales características de aquella. Esta es la principal propiedad de la muestra "poseer las principales características de la población" la que hace posible que el investigador que trabaja con la muestra, generalice sus resultados a la población.

Para esta investigación, la selección de muestra fue del tipo no probabilística, por lo tanto, se recolectaron 60 litros de agua de la captación de agua del río Ichu Punco Punco en el mes de marzo del año 2020; muestras que fueron almacenadas en baldes limpios previamente desinfectados.

A continuación, se procedió a rotular los envases que contenían las muestras, etiquetando la fecha y ubicación de muestreo. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio fisicoquímico de la planta de tratamiento de agua potable Millpo de la empresa municipal de agua

potable y alcantarillado EMAPA – Huancavelica, evitando retrasos que permitan la alteración de las condiciones originales.

Figura 9

Recolección de muestras en la captación de agua del río Ichu sector Punco Punco

3.7.3. Técnica de muestreo

Según Hernández & Mendoza (2018), la elección de una técnica de muestreo de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico, ni con base en fórmulas de probabilísticas, más bien depende del proceso de toma de decisiones del investigador o de un grupo de investigadores y desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación.

La presente investigación, empleo la técnica de muestreo no probabilístico con tipo de muestreo por conveniencia, porqué las elecciones de las muestras no dependen de fórmulas probabilísticas, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de los

propósitos del investigador, porque están convenientemente disponibles para el investigador.

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.8.1. Técnicas de recolección de datos

Según Gonzales *et al*. (2011) la observación es una técnica que se fundamenta en observar atentamente un caso o un hecho, fenómeno y tomar información para registrarla para su posterior análisis.

Teniendo como una de sus modalidades a la observación estructurada, que se realiza con la ayuda de elementos técnicos apropiados, tales como: cuadros, tablas y fichas, etc., por lo cual sé los denomina observación sistemática. Teniendo como recursos auxiliares tales como grabaciones, fichas, listas de chequeo de datos, récords anecdóticos, escalas y fotografías.

Este trabajo de investigación recopiló datos con la ayuda de la técnica observacional estructurada, empleando fichas de recolección de datos.

3.8.2. Instrumentos de recolección de datos

Según Gonzales *et al*. (2011), la validez en toda investigación es aplicada a un instrumento para medir las variables contenidas en la hipótesis. Esta medición es efectiva cuando el instrumento de recolección de datos realmente representa a las variables que el investigador tiene en mente; ya que, si no es así, la medición es deficiente y por lo tanto la investigación pierde interés. Así, a pesar de que no existe medición perfecta, por ser prácticamente imposible representar fielmente las diversas variables, se debe acercar lo más posible a la fiel representación de las variables a observar.

Según Gonzales *et al*. (2011), la confiabilidad es un requisito que debe cumplir todo instrumento de medición y evaluación, el cual hace referencia al problema que enfrenta todo investigador cuando se pregunta: “En qué medida puedo fiarme de los datos obtenidos, mediante

la aplicación del instrumento"; "Si hago una segunda evaluación de la misma variable, en los mismos sujetos, obtendré los mismos resultados" La confiabilidad supone pues, la certeza del investigador de que los datos obtenidos son sólidas.

Por lo tanto, para esta investigación se emplearon los siguientes instrumentos de recolección de datos como:

A. Fichas de recolección de datos

Se emplearon fichas para recolectar información durante la ejecución de los ensayos de pruebas de jarras. Las fichas fueron elaboradas tomando como referencia a la ficha de registro de dosificación óptima de coagulante de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado EMAPA – Huancavelica. Asimismo, fueron verificadas y firmadas por el personal responsable de la unidad de producción y control de calidad de la empresa. (**Ver Apéndice N°4)**

Figura 10

Ficha de recolección de datos empleada en los ensayos de prueba de jarras

Ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante a base de mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras N° 01

Repetición N° 01

Hora: **Fecha:**

Lugar de toma de muestras:

Laboratorio:

Coordenadas UTM: **Altitud:**

Rango de dosificación:

Agua cruda				Dosificación (ml/L)	Agua sedimentada					Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) _____				Mezcla rápida Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm	Floculación Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm		Sedimentación Tiempo de Sedimentacion: 15 min.			Volumen de jarra: 1000 ml
Jarra N°	pH Inicial	Conductividad inicial	Temperatura Inicial (°C)	Coagulante a base demucilago de nopal (ml/L)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	pH Final	Conductividad final	Temperatura final (°C)	Índice de Willcomb

Otras indicaciones
Orden de aplicación de los productos
Mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*

Conclusiones

Dosis óptima _____

Índice de willcomb
0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento
2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no
6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente
10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

B. Equipos de laboratorio

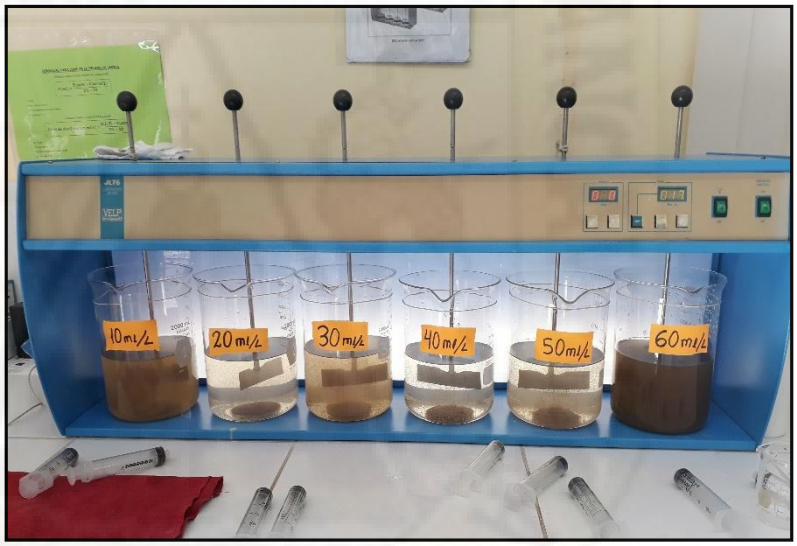
Los equipos del laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable - Millpo son calibrados y/o verificados con una constancia mensual. **(Ver Apéndice N° 5)**

B.1. Equipo de prueba de jarras Velp Scientifica

Se empleó el equipo de "prueba de jarras" de modelo Velp Scientifica, este equipo es muy útil para medir el contenido de sólidos en suspensión y coloides de forma indirecta, esta técnica es considerada de medición óptica, debido a que mide el traspaso de la luz a través de la muestra.

Figura 11

Equipo de prueba de jarras Velp Scientifica



B.2. Turbidímetro HACH 2100Q

El turbidímetro es utilizado para medir partículas en suspendidas en un líquido, mostrando valores en NTU, aportan resultados viables y de alta precisión; son utilizados mayormente para el análisis de agua.

Figura 12

Turbidímetro HACH 2100Q

B.3. Multiparámetros HACH HQ 40D

Diseñado para el control de la calidad del agua, es un dispositivo de medición preciso que mide el pH, la conductividad, TDS entre otros parámetros, usado mayormente para trabajos en campo sobre todo en lugares donde se requiere medir más de un parámetro en el punto de muestreo.

Figura 13

Multiparámetros HACH HQ 40d

3.9. Procedimiento de recolección de datos

Según Hernández & Mendoza (2018), recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico.

La investigación tuvo como propósito principal la determinar la eficiencia de remoción de turbiedad del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – Indica*), a través de ensayos de prueba de jarras donde se recolectaron los datos de los parámetros de investigación.

3.9.1. Caracterización de la penca de tuna

A. Localización y recolección de la materia prima

El lugar de recolección se ubicó en el distrito de Izcuchaca, provincia y departamento de Huancavelica, en la vía férrea Huancayo – Huancavelica, en las coordenadas UTM 8618330.6 N - 499886.8 E.

La selección de las pencas de tuna *(Opuntia ficus indica*) se realizó en función a la edad, considerando pencas de 2 a 3 años de edad que no mostraron señales de enfermedad u hongos, debido a que las pencas en mal estado podrían afectar la inocuidad del coagulante.

Figura 14

Recolección de pencas de tuna

B. Caracterización fisicoquímica de la penca de tuna

El proceso de caracterización de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica)* se realizó en el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional de Huancavelica. Los parámetros analizados fueron considerados de acuerdo a la revisión bibliográfica, siendo útiles para constatar que la planta utilizada en el proyecto posee características apropiadas.

B.1. Determinación de % de humedad

La humedad se determinó a través del método gravimétrico, el procedimiento consistió en el pesado de 4

muestras de penca de tuna de aproximadamente 5 g cada una, posteriormente las muestras fueron secadas en el horno a calor seco a una temperatura de 65 ºC por periodo de 4 horas según (Morejón, 2017).

Figura 15

Determinación de la humedad de la penca de tuna (Opuntia ficus – indica)

Figura 16

Muestras de penca de tuna deshidratadas

La humedad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%\ Humedad = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \times 100\%$$

Donde:

- $m_0 = Masa\ inicial\ de\ la\ muestra\ (g)$
- $m_f = Masa\ final\ de\ la\ muestra\ (g)$

Tabla 4

Datos del % de humedad de la penca de tuna

Muestra	$\boldsymbol{m_0}$ **(g)**	$\boldsymbol{m_f}$ **(g)**
1	5.0345	0.4608
2	5.0002	0.3560
3	5.1050	0.5091

Reemplazando:

$$\%\ Humedad_{muestra\ 1} = \frac{5.0345 - 0.4608}{5.0345} \times 100\% = 90.85$$

$$\%\ Humedad_{muestra\ 2} = \frac{5.0002 - 0.3560}{5.0002} \times 100\% = 92.88$$

$$\%\ Humedad_{muestra\ 3} = \frac{5.1050 - 0.5091}{5.1050} \times 100\% = 90.03$$

$$\%\ \boldsymbol{Humedad} = (90.85 + 92.88 + 90.03)/3 = 91.25\%$$

A continuación, se determinó la humedad promedio de la penca de tuna recolectada es igual a 91.25 %.

B.2. Determinación de porcentaje de cenizas

El porcentaje de cenizas de penca de tuna fue hallado a través del método físico gravimétrico, las muestras de penca de tuna cada una aproximadamente de 5 g, fueron depositadas en crisoles de porcelana para posteriormente ser calcinadas en el horno a calor seco a una temperatura de 600 ºC por un tiempo de 2 horas hasta obtener cenizas blanquecinas según (Morejón, 2017).

Figura 17

Determinación de cenizas de la penca de tuna (Opuntia ficus – indica)

Figura 18

Cenizas de las muestras de penca de tuna

El porcentaje de cenizas se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$\%\ Cenizas = \frac{m_f}{m_0} \times 100\%$$

Donde:

- $m_0 = Masa\ inicial\ de\ la\ muestra\ (g)$
- $m_f = Masa\ final\ de\ la\ muestra\ (g)$

Tabla 5

Datos del % de cenizas de la penca de tuna

Muestra	m_0 (g)	m_f (g)
1	5.3575	0.0421
2	5.6820	0.0634
3	5.5931	0.0562

Reemplazando:

$$\%\ Cenizas_A = \frac{0.0421}{5.3575} \times 100\% = 0.7858$$

$$\% \, Cenizas_B = \frac{0.0634}{5.6820} \times 100\% = 1.1158$$

$$\% \, Cenizas_C = \frac{0.0562}{5.5931} \times 100\% = 1.0048$$

$$\% \, \boldsymbol{Cenizas} = (0.7858 + 1.1158 + 1.0048)/3 = 0.97\%$$

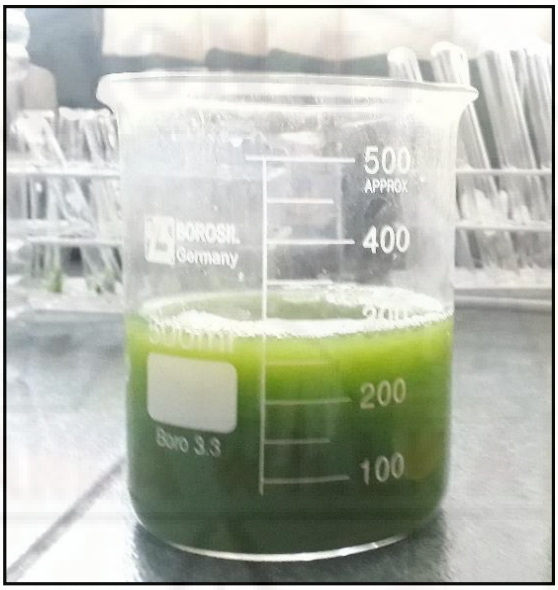
Reemplazando los datos obtenidos en la fórmula se determinó el % de cenizas promedio de las muestras de penca de tuna fue 0.97 %:

B.3. Determinación de pH

La medición del valor del pH de forma precisa se realizó con ayuda del multiparámetro HACH HQ 40D, previo a ello se alistaron las muestras, iniciando con la limpieza y pelado de las pencas de tuna, continuando con el troceado a manera de facilitar el proceso de licuado por un tiempo de 10 minutos a alta velocidad, posteriormente se filtró el mucilago haciendo uso de una tela costalillo, para finalizar con la medición del pH de la solución.

Figura 19

Determinación de pH de la solución de penca de tuna (Opuntia ficus – indica)



El pH se calculó a través del promedio de los valores obtenidos en las tres mediciones:

$$pH = \frac{pH_1 + pH_2 + pH_3}{3}$$

Tabla 6

Datos del pH de la penca de tuna

Muestra	pH
1	4.05
2	4.31
3	4.76

Reemplazando:

$$pH = \frac{4.05 + 4.31 + 4.76}{3} = 4.37$$

Reemplazando los datos obtenidos en la fórmula, se determinó el valor de pH promedio igual a 4.37.

3.9.2. Obtención del coagulante a base de penca de tuna

Los resultados obtenidos de % de humedad, % de cenizas y pH, indicaron que las pencas de tuna (*Opuntia ficus - indica*) fueron apropiadas, brindando de ese modo el pase para el comienzo del proceso de obtención del coagulante a base de mucilago de nopal.

El proceso de obtención del coagulante natural, fue sintetizado en un diagrama de flujo.

Figura 20

Proceso de obtención del coagulante natural

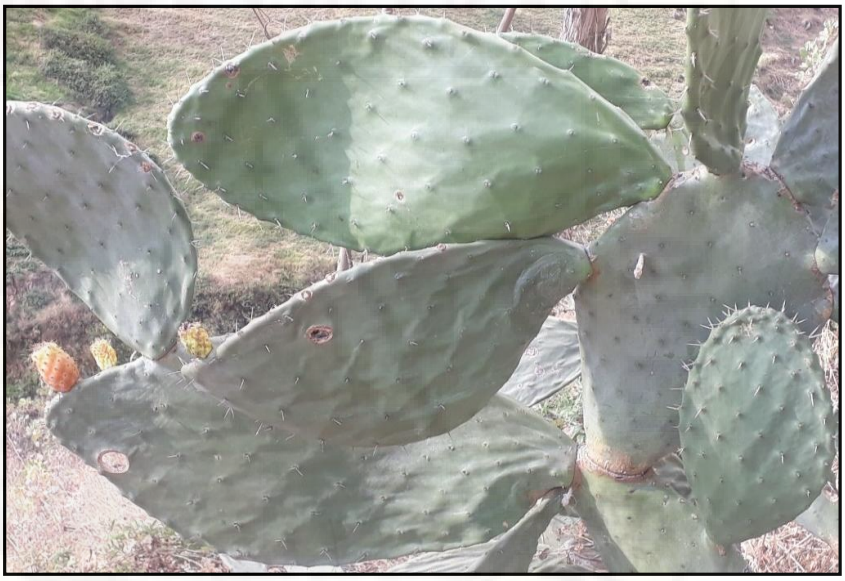
Fuente: elaboración propia

A. Selección de las pencas de tuna

Se seleccionaron pencas de tuna *(Opuntia ficus indica*) de 2 a 3 años de edad que no mostraron señales de enfermedad u hongos, debido a que las pencas en mal estado pudieron afectar la inocuidad del coagulante, el lugar de recolección se ubicó en el distrito de Izcuchaca, provincia y departamento de Huancavelica, vía férrea Huancayo – Huancavelica, en las coordenadas UTM 8618330.6 N - 499886.8 E.

Figura 21

Selección de pencas de tuna más óptimas



B. Pesado de las pencas de tuna

Las pencas seleccionadas fueron pesadas con el objetivo de llevar un control para posteriormente realizar el balance de materia prima, el cual indica la cantidad de pérdidas de materia prima durante el procedimiento de obtención del coagulante natural a base de mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*).

Figura 22

Pesado de las pencas seleccionadas

Figura 23

Medición del ancho, largo y espesor de las pencas de tuna seleccionadas

C. Cepillado y lavado

En el proceso de limpieza y cepillado de las pencas seleccionadas se emplearon una escobilla, esponjas y guantes, para

remover restos de tierra, polvo y espinas pequeñas, seguidamente se procedió a lavar las pencas de tuna para retirar por completo los residuos restantes de la superficie.

Figura 24

Lavado y cepillado de la penca de tuna

D. Extracción de espinas y Pelado

Previamente se realizó el proceso de extracción de las espinas con el objetivo de facilitar el pelado de las pencas y evitar accidentes, para ello se emplearon pinzas y bisturís.

El pelado de las pencas se realizó manualmente empleando un bisturí, pelador y cuchillos; el procedimiento se llevó a cabo de manera muy cuidadosa tratando de retirar la cutícula gruesa y cerosa que cubre la superficie para obtener mayor cantidad de pulpa.

Figura 25

Extracción de espinas de la penca de tuna

Figura 26

Pelado de las pencas de tuna

E. Picado

Con el objetivo de facilitar el proceso de extracción del mucílago, se procedió a trozar las pencas previamente peladas en pequeños cubos de 1 cm^3 aproximadamente.

Figura 27

Penca picada en trozos

F. Extracción

A continuación, se inició con el proceso de extracción del mucilago de nopal, considerando el factor de relación penca de tuna/agua, el peso de la penca en gramos y el volumen de agua en litros en relación 1:2; se empleó una hornilla eléctrica para el calentado a tiempo de ebullición durante 15 minutos.

En la ejecución del proceso se pudo observar que el calor como fuente de energía térmica, contribuyó con la optimización de la extracción de mucílago, de manera que ayudó al desprendimiento del mucilago de la fibra vegetal, obteniendo una solución transparente viscosa.

Figura 28

Vertido de agua en relación 1:2 Penca/Agua

Figura 29

Extracción del mucílago de nopal, relación 1:2 Penca/Agua

G. Filtración

Previo al proceso de filtración se dejó reposar la solución durante 20 minutos con el objetivo de que los restos de fibra y trozos

de pulpa de penca presentes en la solución sedimenten facilitando de ese modo el proceso de filtración; se emplearon papeles filtro adecuados a la forma del embudo de cristal, para permitir únicamente el paso de la solución viscosa que contiene el mucilago de nopal. Logrando obtener como producto final el coagulante fresco a base de mucilago de nopal.

Figura 30

Sedimentación por 20 minutos de restos de fibra del mucílago de nopal

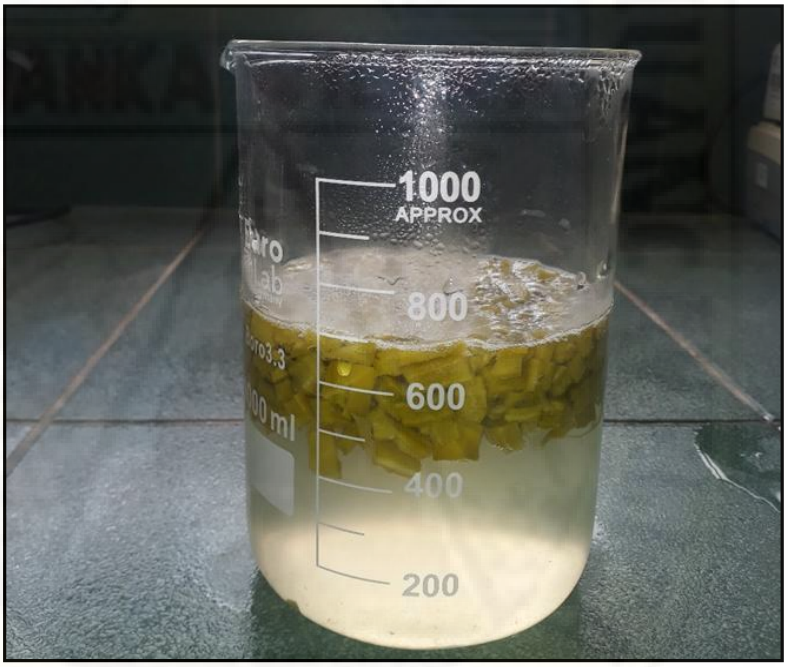


Figura 31

Coagulante sedimentado

Figura 32

Filtración del mucilago de nopal

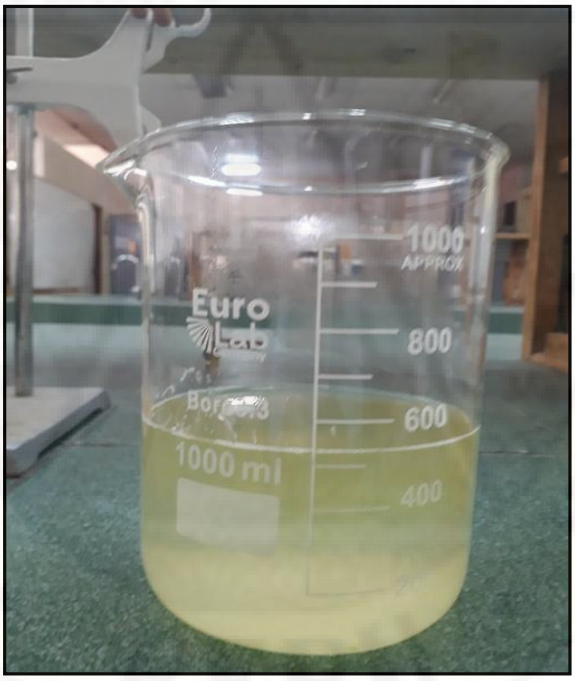
H. Coagulante natural

Finamente, se obtuvo el coagulante fresco a base de mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*, una solución viscosa de color marfil – transparente libre de impurezas.

Después del proceso de balance de masa y volumen, se logró obtener un volumen final de 3600 ml de coagulante fresco a base de mucilago de nopal, volumen empleado en el hallazgo de las dosis óptimas para turbiedades iniciales encontradas entre el rango de 1561 a 1568 NTU.

Figura 33

Filtración del mucilago de nopal



3.9.3. Balance de materia prima para la obtención de coagulante de mucílago de nopal

Se eligieron las pencas recolectadas en mejor estado para posteriormente pesarlas y medirlas. Ver **Tabla 7** a continuación:

Tabla 7

Dimensionamiento de las Pencas de Tuna (Opuntia ficus - indica) seleccionadas

Peso y Dimensiones de las Pencas de Tuna (Opuntia ficus - indica)				
N°	**Ancho (cm)**	**Largo (cm)**	**Espesor (cm)**	**Peso (gr)**
1	18.0	34.0	2.0	809.0
2	19.5	33.5	2.2	836.0
3	19.0	35.0	2.0	825.0
Total				2470.0

Se seleccionaron 03 pencas con un peso total de 2470.0 g, el cual representa la cantidad de materia prima empleada en los ensayos N° 01 y 02 para remover una turbiedad inicial entre 1565 a 1568 NTU, realizada en el mes de marzo.

A. Balance de materia prima

El análisis del balance de la materia prima se realizó para determinar la cantidad de materia prima necesaria que se empleó hasta obtener exactamente la cantidad de coagulante a base de mucílago de nopal.

Tabla 8

Balance de materia prima empleada en los ensayos N° 01 y 02

N°	Proceso	Masa Inicial (gr)	Masa Final (gr)	Perdida (gr)	Perdida por Operación (%)	Pérdida Total (%)
1	**Selección de la penca de tuna**	2470.00	2470.00	0.00	0.00	0.00
2	**Cepillado y lavado**	2470.00	2435.00	35.00	1.42	1.42
3	**Extracción de espinas y pelado**	2435.00	1756.00	679.00	27.89	27.49
4	**Troceado**	1756.00	1701.00	55.00	3.13	2.23
5	**Extracción y Filtración**	1701.00	1701.00	0.00	0.00	0.00
	Total			769.00		31.14

El proceso productivo inició con un peso total de 2470.0 g, posterior a la limpieza a través del cepillado y lavado quedó 2435.00 g, después del proceso extracción de espinas y pelado quedó 1756.00 g, después del troceado de las pencas peladas en pequeños cubos de 1 cm^3 de volumen aproximadamente quedaron 1701.00 g.

Continuando con el procedimiento se realizó la extracción de mucilago con una relación de penca/agua en 1:2, para ser llevado a

calentar en una hornilla eléctrica durante 15 minutos, optimizando de esa manera la extracción de mucílago.

A continuación, se determinó el volumen obtenido de coagulante fresco a partir de 1701.00 gr de pulpa de penca troceada. Para optimizar el procedimiento en relación 1:2 (penca/agua) se trabajó con 1700.00 gr de pulpa de penca troceada a modo de facilitar los cálculos con números enteros.

Tabla 9

Volumen obtenido de coagulante fresco en relación 1:2 (penca/agua) en el mes de marzo

Penca pelada y troceada (gr)	**Agua relación 1:2 (ml)**	**coagulante natural (ml)**
1700.00	3400.00	3600.00

Después del proceso de filtrado, se obtuvieron 3600.00 ml de coagulante fresco a base de mucilago de nopal en relación 1:2 (penca/agua) a partir de 1700.00 gr de penca pelada y troceada y 3400.00 ml de agua.

3.9.4. Caracterización del coagulante a base mucílago de nopal

La caracterización del coagulante fresco se realizó por medio de pruebas físico-químicas y de solubilidad, evaluando parámetros como pH, estado físico de la materia, color, olor y del mismo modo analizando la solubilidad del coagulante en solventes como agua y etanol.

A. Pruebas Físicas

Se evaluaron las siguientes pruebas:

Tabla 10

Pruebas físicas del mucilago de nopal (Opuntia ficus - indica).

Parámetro	Valor	Método
pH	6.25	pH-metro
Estado Físico	líquido	observación
Color	marfil transparente	observación
Olor	característico	simple inspección

Se determinó el pH de la solución cuyo valor fue igual a 6.25, indicando que el coagulante fresco presenta un ligero grado de acidez, para ello se empleó un multiparámetro HQ 40d. También se logró identificar por medio de la observación que el coagulante presentaba un estado físico líquido - viscoso, de color marfil casi transparente y con un olor característico de la tuna.

Figura 34

Medición de pH del coagulante fresco a base de mucilago de nopal

B. Pruebas de solubilidad

Las pruebas de solubilidad se realizaron con los siguientes solventes:

Tabla 11

Solubilidad de mucílago de nopal.

Solvente	Solubilidad
Agua	Soluble
Etanol	Poco soluble

La prueba de solubilidad se realizó con el objetivo de determinar las propiedades vinculadas con la capacidad de remoción de turbidez que presenta el coagulante obtenido de mucilago de nopal. Al realizar la prueba de solubilidad, se pudo identificar que el mucilago de nopal es altamente soluble en agua, por el contrario, el mucilago presentó poca solubilidad en el etanol de 96°.

Figura 35

Prueba de solubilidad para el coagulante de mucilago de nopal en agua

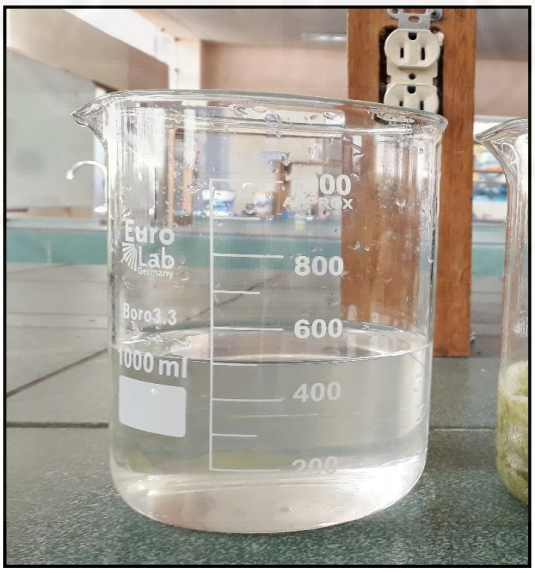


Figura 36

Prueba de solubilidad para el coagulante de mucilago de nopal en etanol 96°

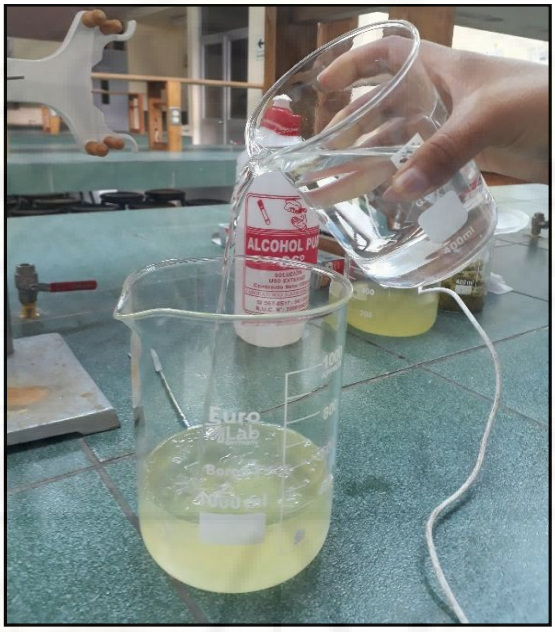
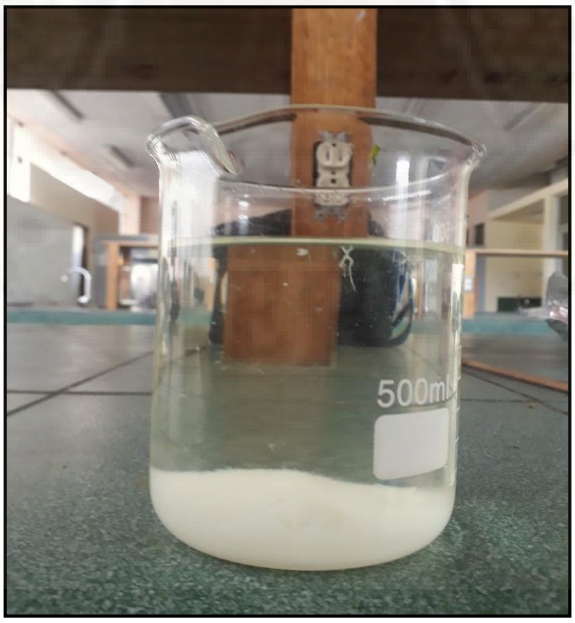


Figura 37

Prueba de solubilidad para el coagulante de mucilago de nopal en etanol 96°



3.9.5. Ensayos de prueba de jarras

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia de remoción de turbiedad del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del rio Ichu, para lo cual fue necesario realizar dos ensayos de pruebas de jarras.

La ejecución de las pruebas de jarras se realizó en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable Millpo de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado EMAPA – Huancavelica, debido a que es el único laboratorio en la ciudad que cuenta con el equipo de prueba de jarras.

Figura 38

Verificación de las paletas de agitación

A. Registro de parámetros iniciales

Se registraron los parámetros iniciales como: turbiedad, conductividad, pH y temperatura con ayuda del Turbidímetro HACH 2100Q y el multiparámetro HACH HQ 40D.

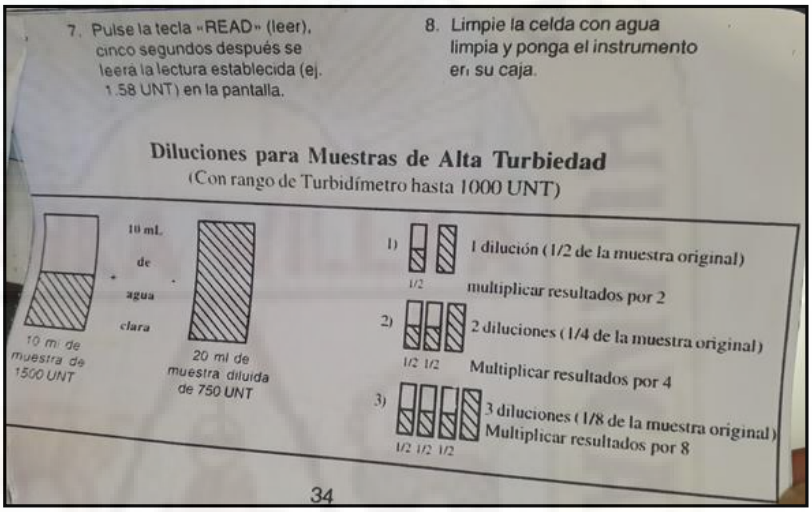
A.1. Turbiedad cruda

Para poder determinar los valores de turbiedad real de las muestras de agua de río Ichu, fue necesario emplear la guía de

disolución para muestras de alta turbiedad (con rango de turbiedad hasta 1000 NTU) debido a que el turbidímetro Hach 21000 solo puede leer valores hasta los 1000 NTU.

Figura 39

Diluciones para muestras de alta turbiedad con rango de Turbidímetro hasta 1000 NTU



El procedimiento consistió en diluir 10 ml de la muestra de agua en 10 ml de agua destilada, obteniendo una disolución de volumen igual a 20 ml con una turbiedad mejorada de 783 NTU, valor necesario para hallar la turbiedad real de la muestra de agua de río Ichu igual a 1566 NTU.

Datos:

- $Turbiedad\ _{cruda} \geq 1000\ NTU$
- $volumen\ _{muestra} = 10\ ml$
- $volumen\ _{agua\ destilada} = 10\ ml$

Dilución en 1/2 de la muestra original

$Turbiedad\ de\ la\ dilución = 783\ NTU$

Hallando la turbiedad real de medición:

$Turbiedad\ real = 783 \times 2 = 1566\ NTU$

Figura 40

Dilución de turbiedad cruda >1000 NTU de la muestra de agua de río Ichu

Figura 41

Medición de turbiedad de dilución con el Turbidímetro HACH 2100Q

A.2. Conductividad, pH y temperatura inicial

Para la medición de los parámetros iniciales de la conductividad eléctrica, temperatura y pH de las muestras de agua, se realizó el siguiente procedimiento.

a. El multiparámetro fue calibrado por el personal técnico que labora en la planta de tratamiento de agua potable Millpo.

b. Seguidamente, se calibró la sonda de conductividad en 50 ml de la solución estándar de cloruro de sodio 491±2.5 mg/L como NaCl 1000 ±10 µS/cm, obteniendo un resultado de $793\ \mu s/cm$, el cual indicó que la calibración fue correcta.

Figura 42

Solución estándar de cloruro de sodio 491±2.5 mg/L como NaCl 1000 ±10 µS/cm

Figura 43

Calibración de sonda de conductividad en solución estándar de NaCl 491±2.5 mg/L

c. También se calibró la sonda de pH empleando soluciones tampón pH 4.01 ± 0.02 (color codificado rojo), $7.00\ a\ 0.02$ (color codificado amarillo) y 10.01 ± 0.02 (color codificado azul).

Figura 44

Soluciones de tampón pH de 4.01, 7.00 y 10.01

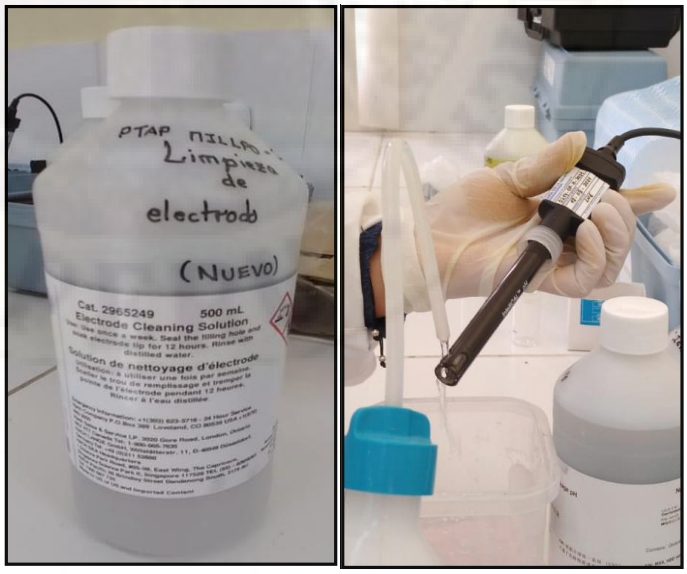
Figura 45

Calibración con soluciones de tampón pH de 4.01, 7.00 y 10.01

d. Se realizó la limpieza de los electrodos con agua destilada y solución de limpieza de electrodos y fueron secados de manera cuidadosa, para iniciar con la medición de los parámetros.

Figura 46

Limpieza de electrodo de pH



e. A continuación, Se realizó la medición y lectura de pH, conductividad eléctrica y temperatura.

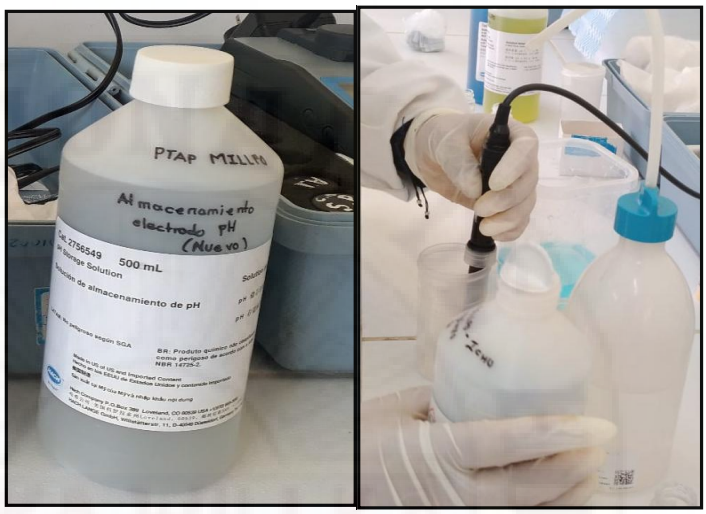
Figura 47

Medición y lectura de pH, conductividad eléctrica y temperatura

f. Para finalizar, se realizó la limpieza de los electrodos y cubetas con agua destilada y solución de limpieza de electrodos, para ser guardados en solución de almacenamiento de pH para evitar que el electrodo se reseque.

Figura 48

Almacenamiento de electrodo pH



B. Ejecución del Ensayo de prueba de jarras N° 01

B.1. Homogeneización de las muestras de agua de río Ichu

Las muestras recolectadas fueron vertidas a un recipiente de mayor capacidad para poder agitarlas manualmente con el objetivo de homogeneizar las partículas en suspensión y evitar la sedimentación de partículas al momento de verter las muestras de agua en las jarras.

Figura 49

Homogeneización de las muestras de agua de río Ichu

B.2. Aforamiento de las muestras de agua de río Ichu

Las muestras de agua turbia fueron aforadas en 1 litro con ayuda de una probeta graduada, para obtener el mismo volumen en las seis jarras y facilitando el vertido en estas, las jarras fueron debidamente acomodadas en el equipo de prueba verificando que las paletas de agitación queden ubicadas en el centro; una vez acondicionas comenzó el proceso de agitación para evitar la sedimentación de partículas.

Figura 50

Aforamiento en 1 L de muestra de agua cruda para al Ensayo de prueba de jarras N° 01

B.3. Aplicación de las dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml de coagulante a base de mucílago de nopal

El objetivo de este ensayo, fue determinar la dosis de coagulante de mucilago de nopal que genere la más rápida desestabilización de las partículas y que permita la formación de un flóculo grande, pesado y compacto, que pueda ser fácilmente retenido, que no se rompa y traspase el filtro.

El proceso de hallazgo de la dosis óptima de coagulante a base de mucilago de nopal requirió la ejecución de dos ensayos de pruebas de jarras y cada uno contó con tres repeticiones, la aplicación de las dosis de coagulante natural fue variando hasta conseguir la dosis con mayor porcentaje de remoción de turbiedad.

En la ejecución del Ensayo de prueba de jarras N° 1, se aplicaron seis dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml de coagulante a base de mucilago de nopal en relación 1:2 penca: agua; el coagulante natural al encontrarse en estado físico - líquido mucilaginoso no necesitó ser diluido. Para medir las dosis de coagulante se usaron jeringas graduadas y estériles, asegurando que exista una mínima variación de tiempo al momento de verter las seis dosis de coagulante natural en las jarras durante la etapa de agitación.

Figura 51

Vertimiento de las dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml de coagulante natural

B.4. Etapa de floculación

A continuación, se puso en funcionamiento el equipo de prueba de jarras programándolo de la siguiente manera:

- **Agitación rápida**: fue programada a una velocidad de 300 rpm para un periodo de tiempo de 5 segundos.
- **Etapa de floculación**: fue programada para un tiempo de 20 minutos a una velocidad de 40 rpm.

La aplicación del coagulante natural a todas las jarras se realizó en forma simultánea e instantánea, cuidando que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida. El coagulante se aplicó en la etapa de agitación rápida donde se simula el punto de máxima turbulencia.

Durante el proceso de floculación, se identificó que la jarra N° 04 donde se aplicó la dosis de coagulante natural de 40 ml, presentó primero la formación de flóculos a un tiempo aproximado de 55 segundos.

Figura 52

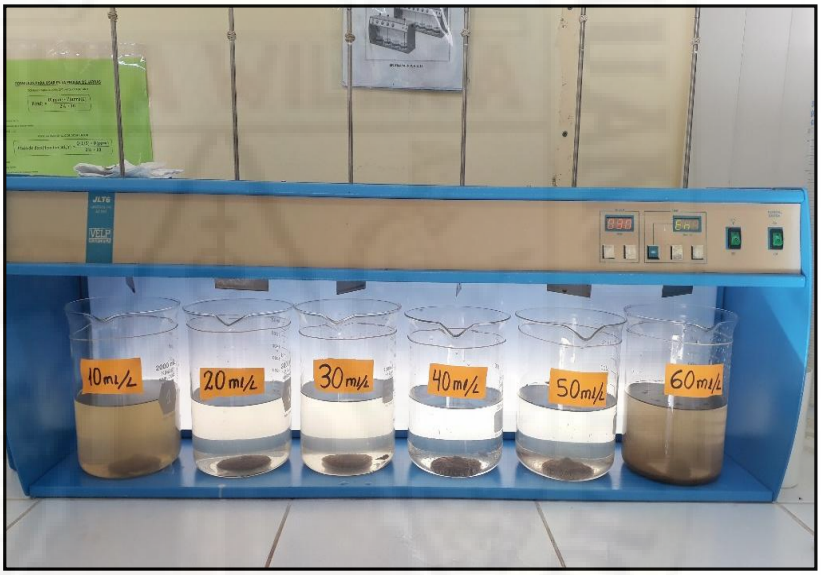
Formación de flóculos a una agitación de 40 rpm por 20 minutos

B.5. Etapa de sedimentación

Una vez concluido con los tiempos de mezcla y floculación, el equipo de prueba de jarras se apagó automáticamente y se procedió a retirar las jarras, se colocaron los tomadores de muestras, succionando los sifones con ayuda de una jeringa, se atracó el extremo del sifón utilizando una liga colocada alrededor de la jarra y se dejó sedimentar el agua durante 15 minutos.

Figura 53

Sedimentación de flóculos



B.6. Recolección de muestras de agua tratada

Cumplido el tiempo de sedimentación, se procedió a tomar las muestras de agua de las jarras, en un volumen de 30 ml, descartando los primeros 10 ml de muestra retenidos en el sifón.

Figura 54

Recolección de muestras con ayuda del sifón de vidrio

B.7. Medición de parámetros post tratamiento

Se midieron los parámetros de turbiedad, conductividad pH y temperatura de las muestras de agua tratada empleando un turbidímetro HACH 21000 y un multiparámetros HACH HQ 40d; para concluir el ensayo de prueba de jarras N° 01 se determinó que la dosis de 40 ml fue la más óptima, porque fue aquella que produjo la menor turbiedad.

Figura 55

Muestras recolectadas para la medición de parámetros

Figura 56

Medición de parámetros con el turbidímetro HACH 21000 y multiparámetros HACH HQ 40d

Eficiencia de remoción de turbiedad

Una vez obtenidos los valores de turbiedad después de aplicar el tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal, se procedió a calcular el porcentaje de eficiencia de remoción de turbiedad de las dosis aplicadas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml para diferentes turbiedades que se presentaron en un rango entre 1561 a 1568 NTU.

Los cálculos se realizaron con la siguiente fórmula:

$$\%\ \boldsymbol{Eficiencia}_{\boldsymbol{remoción}} = \frac{\text{Turbiedad inicial (NTU)} - \text{Turbiedad final (NTU)}}{\text{Turbiedad inicial (NTU)}} \times 100$$

Turbiedad

La **Tabla 12** y en la **Figura 57**, muestran que, en las condiciones brindadas, la dosis de coagulante igual a 40 ml/L logró disminuir la turbiedad cruda hasta valores de 7.62, 8.01 y 7.62 NTU obtenidas en las repeticiones N° 01, 02 y 03; consiguiendo el mayor porcentaje de eficiencia de remoción de turbiedad al 99.53%, 99.49% y 99.51% respectivamente, proporcionando de ese modo la seguridad para disminuir las dosis en el ensayo N° 02.

Tabla 12

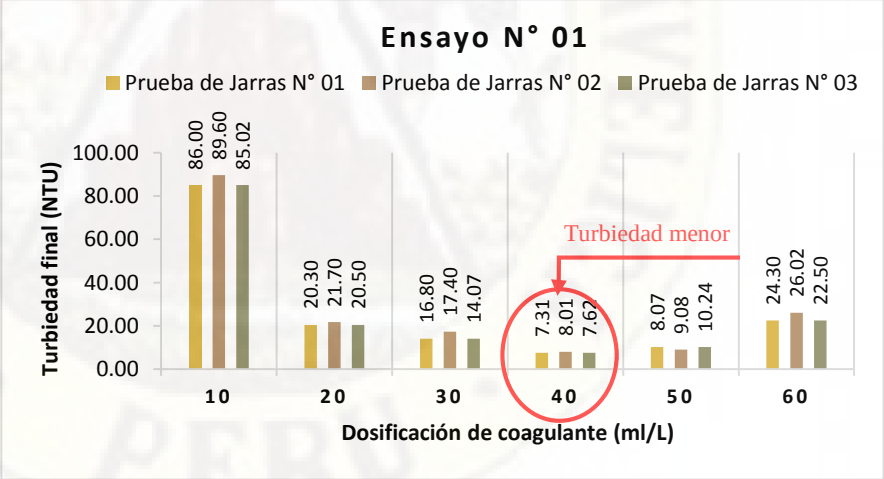
Ensayo de prueba de jarras N° 01 con dosificación de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 a 60 (ml/L)

Repetición N°	Jarra N°	Muestra (ml)	Dosis (ml/L)	Turbiedad cruda (NTU)	Turbiedad tratada (NTU)	Eficiencia %
1	1	1000	10	1566.00	86.00	94.508
	2	1000	20	1566.00	20.30	98.704
	3	1000	30	1566.00	16.80	98.927
	4	1000	40	1566.00	7.31	99.533

	5	1000	50	1566.00	8.07	99.485
	6	1000	60	1566.00	24.30	98.448
2	1	1000	10	1561.00	89.60	94.26
	2	1000	20	1561.00	21.70	98.61
	3	1000	30	1561.00	17.40	98.89
	4	1000	40	1561.00	8.01	99.49
	5	1000	50	1561.00	9.08	99.42
	6	1000	60	1561.00	26.02	98.33
3	1	1000	10	1564.00	85.02	94.56
	2	1000	20	1564.00	20.50	98.69
	3	1000	30	1564.00	14.07	99.10
	4	1000	40	1564.00	7.62	99.51
	5	1000	50	1564.00	10.24	99.35
	6	1000	60	1564.00	22.50	98.56

Figura 57

Comparación de turbiedades después del tratamiento en el Ensayo de prueba de jarras N° 01



PH, conductividad y temperatura

Tabla 13

Valores de pH, conductividad y temperatura después del tratamiento obtenido en el Ensayo de prueba de jarras N° 01

Repetición N°	Dosis (ml/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)	Índice de Willcomb
1	10	7.31	324	13.0	4
	20	7.27	361	12.9	6
	30	7.18	398	12.7	8
	40	7.17	442	12.9	8
	50	7.02	480	12.9	8
	60	6.71	513	13.0	4
2	10	7.54	364	13.2	4
	20	7.37	383	12.8	6
	30	7.28	410	13.0	8
	40	7.27	456	12.7	8
	50	7.12	491	13.1	8
	60	6.92	533	13.0	4
3	10	7.29	316	12.7	4
	20	7.28	357	12.7	6
	30	7.16	382	13.4	8
	40	7.07	429	13.3	8
	50	6.94	458	13.4	8
	60	6.51	483	13.2	4

Parámetros organolépticos

También se realizó el análisis organoléptico, antes y después del tratamiento con el coagulante fresco a base de mucilago de nopal; estos parámetros fueron percibidos sensorialmente.

A continuación, se muestran los resultados los cuales tienen influencia en la aceptabilidad del agua.

Tabla 14

Parámetros organolépticos del agua del río Ichu

Parámetro	Método	Muestra de agua cruda (ml)	Antes	Después
Estado Físico	observación	1000	líquido	líquido
Color	observación	1000	turbio	incoloro
Olor	simple inspección	1000	ninguno	ninguno

C. Ejecución del Ensayo de prueba de jarras N° 02

Utilizando el equipo de prueba de jarras, se determinó la variación de la calidad del agua en función de las dosis de coagulante a base de mucilago de nopal, para diferentes turbiedades que se presentaron en un rango entre 1561 a 1568 NTU.

El ensayo N° 01 sirvió como pre prueba en el proceso de hallazgo de la dosis óptima, en la cual se demostró que la dosis de 40 ml obtuvo mayor porcentaje de eficiencia de remoción de turbiedad, este resultado sirvió como referente para la ejecución del **Ensayo de prueba de jarras N° 02,** donde se consideró conveniente disminuir el rango de la dosificación de coagulante a base de mucilago de nopal a partir de la dosis de 40 ml, debido a que la dosis óptima debía ser aquella que produjera la más rápida desestabilización de las partículas coloidales con menor cantidad de coagulante natural, motivo por el cual se aplicó un nuevo rango de dosificación de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L para tratar las turbiedades.

C.1. Homogeneización de las muestras de agua de río Ichu

Para la ejecución del ensayo de prueba de jarras N° 02, también se realizó el procedimiento de agitación manual de las muestras para la sedimentación de partículas al momento de verter las muestras de agua en las jarras.

C.2. Aforamiento de las muestras de agua de río Ichu

El aforamiento de las muestras se realizó con ayuda de una probeta graduada para evitar la variación de volumen igual a 1 L en las seis jarras, estas fueron debidamente acomodadas en el equipo de prueba verificando que las paletas de agitación queden ubicadas en el centro; una vez acondicionas comenzó el proceso de agitación para evitar la sedimentación de partículas.

Figura 58

Aforamiento en 1 L de muestra de agua cruda para al Ensayo de prueba de jarras N° 02

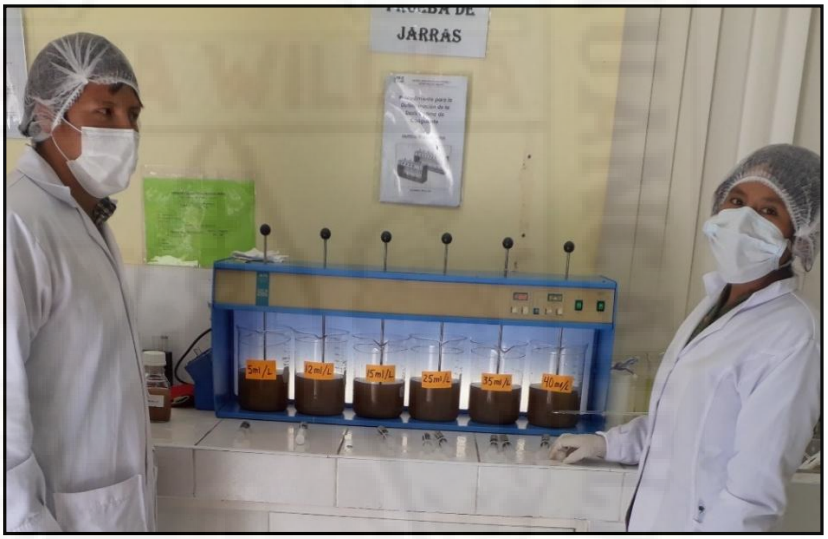
C.3. Aplicación de las dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante a base de mucílago de nopal

Se aplicaron seis dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante a base de mucilago de nopal en una relación 1:2 de

penca: agua; el coagulante natural al encontrarse en estado físico - líquido mucilaginoso no necesitó ser diluido. Para medir las dosis de coagulante se usaron jeringas graduadas y estériles, asegurando que exista una mínima variación de tiempo al momento de verter las seis dosis de coagulante natural en las jarras durante la etapa de agitación.

Figura 59

Vertimiento de las dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante natural



C.4. Etapa de floculación

A continuación, se puso en funcionamiento el equipo de prueba de jarras programándolo de la siguiente manera:

- **Agitación rápida**: fue programada para un tiempo de 5 segundos a una velocidad de 300 rpm.
- **Etapa de floculación**: fue programada para un tiempo de 20 minutos a una velocidad de 40 rpm.

La aplicación del coagulante natural a todas las jarras se realizó en forma simultánea e instantánea, cuidando que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más

rápida. El coagulante se aplicó en la etapa de agitación rápida donde se simula el punto de máxima turbulencia.

Durante el proceso de floculación, se identificó que la jarra N° 04 donde se aplicó la dosis de coagulante natural de 40 ml, presentó primero la formación de flóculos a un tiempo aproximado de 55 segundos.

Figura 60

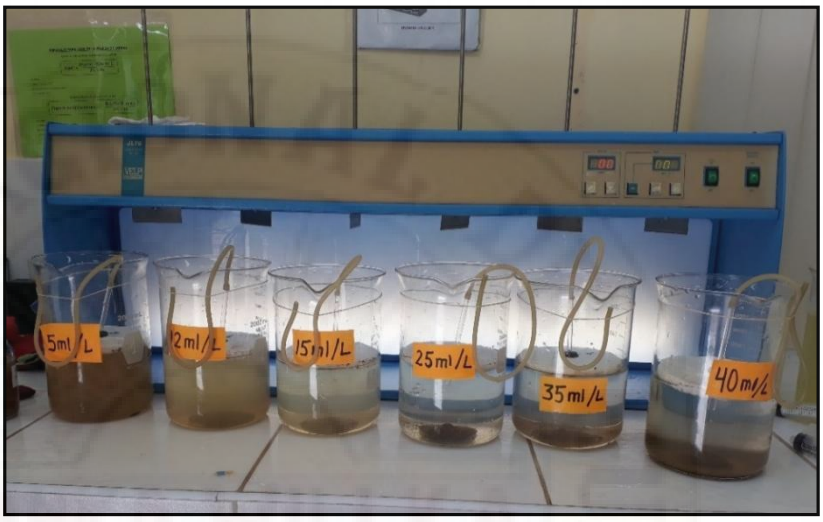
Formación de flóculos a una agitación de 40 rpm por 20 minutos durante el Ensayo de prueba de jarras N° 02

C.5. Etapa de sedimentación

Al concluir con los tiempos de mezcla y floculación, el equipo de prueba de jarras se apagó automáticamente y se procedió a retirar las jarras, se colocaron los tomadores de muestras, succionando los sifones con ayuda de una jeringa, se atracó el extremo del sifón utilizando una liga colocada alrededor de la jarra y se dejó sedimentar el agua durante 10 minutos.

Figura 61

Sedimentación de flóculos – Ensayo de prueba de jarras N° 02



C.6. Recolección de muestras de agua tratada

Al culminar la sedimentación, se recolectaron las muestras de agua tratada de las jarras, en un volumen de 30 ml descartando los primeros 10 ml de muestra retenidos en el sifón.

Figura 62

Recolección de muestras con ayuda del sifón de vidrio

C.7. Medición de parámetros post tratamiento

Se llevo a cabo la medición de los parámetros de turbiedad, pH, conductividad y temperatura de las muestras de agua tratada empleando un turbidímetro HACH 21000 y un multiparámetros HACH HQ 40d; a través del Ensayo de prueba de jarras N° 02, se pudo volver a comprobar la eficiencia de remoción de turbiedad de la dosis de 40 ml debido a que produjo la menor turbiedad, llegando a la conclusión que fue la dosis más óptima para tratar turbiedades entre 1561 a 1568 NTU.

Figura 63

Muestras recolectadas para la medición de parámetros – Ensayo N° 02

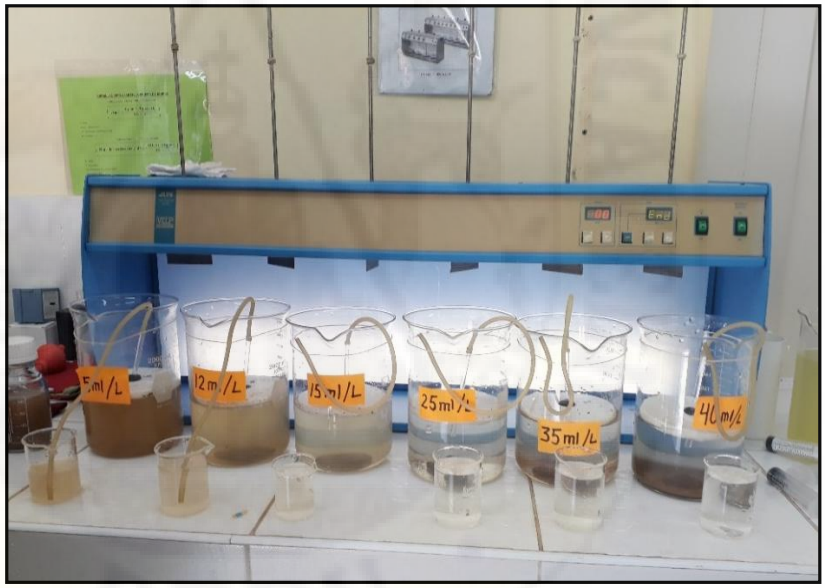
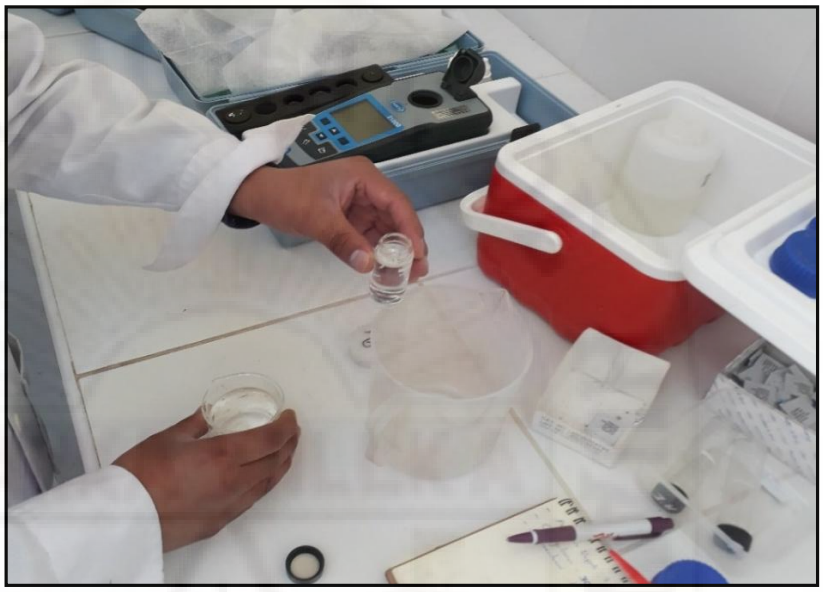


Figura 64

Medición de parámetros con el turbidímetro HACH 21000 y multiparámetros HACH HQ 40d – Ensayo N° 02



Eficiencia del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad.

Una vez obtenidos los valores de turbiedad después de aplicar el tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal, se procedió a calcular el porcentaje de eficiencia de coagulante natural en la remoción de turbiedad de las dosis aplicadas de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml para diferentes turbiedades que se presentaron en un rango entre 1561 a 1568 NTU.

Los cálculos se realizaron con la siguiente fórmula:

$$\%\ \boldsymbol{Eficiencia}_{remoción} = \frac{\text{Turb. inicial (NTU)} - \text{Turb. final (NTU)}}{\text{Turb. inicial (NTU)}} \times 100$$

Turbiedad

Los resultados representados en la **Tabla 15** y en la **Figura 65,** indican que a las condiciones brindadas es conveniente disminuir el rango de dosificación para las pruebas de jarra N° 04, 05 y 06; considerando para el ensayo N° 02 un rango entre 5 a 40 ml/L, debido a que la dosis de 40 ml demostró mayor eficiencia en el ensayo anterior.

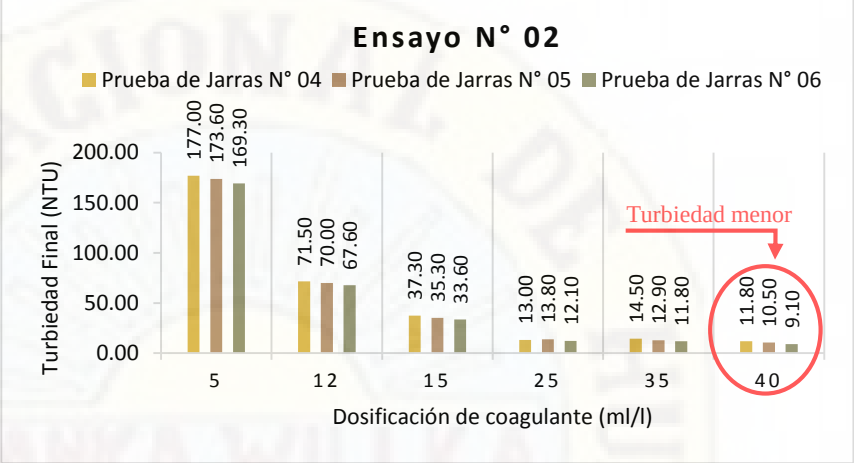
Tabla 15

Ensayo N° 02 con rango de dosificación de 5 a 40 (ml/L)

Repetición N°	Jarra N°	Muestra (ml)	Dosis (ml/l)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción %
1	1	1000	5	1562.00	177.00	88.67
	2	1000	12	1562.00	71.50	95.42
	3	1000	15	1562.00	37.30	97.61
	4	1000	25	1562.00	13.00	99.17
	5	1000	35	1562.00	14.50	99.07
	6	1000	40	1562.00	11.80	99.24
2	1	1000	5	1568.00	173.60	88.93
	2	1000	12	1568.00	70.00	95.54
	3	1000	15	1568.00	35.30	97.75
	4	1000	25	1568.00	13.80	99.12
	5	1000	35	1568.00	12.90	99.18
	6	1000	40	1568.00	10.50	99.33
3	1	1000	5	1565.00	169.30	89.18
	2	1000	12	1565.00	67.60	95.68
	3	1000	15	1565.00	33.60	97.85
	4	1000	25	1565.00	12.10	99.23
	5	1000	35	1565.00	11.80	99.25
	6	1000	40	1565.00	9.10	99.42

Figura 65

Turbiedad después del tratamiento correspondiente al ensayo de prueba de jarras N° 02



PH, conductividad y temperatura

Tabla 16

Valores de pH, conductividad y temperatura después del tratamiento obtenido en el Ensayo de prueba de jarras N° 02

Repetición N°	Dosis (ml/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)	Índice de Willcomb
1	5	6.40	301	13.7	4
	12	6.40	332	13.7	6
	15	6.40	344	13.7	8
	25	7.13	393	13.6	8
	35	7.15	422	13.1	8
	40	7.12	439	13.2	4
2	5	6.80	285	13.7	4
	12	6.60	317	13.9	6
	15	6.50	330	13.9	8
	25	7.12	376	13.8	8

3	35	7.13	401	13.8	8
	40	7.10	420	13.8	4
	5	6.60	282	13.9	4
	12	6.52	313	13.8	6
	15	6.40	325	13.9	8
	25	7.08	374	13.8	8
	35	7.08	403	13.6	8
	40	7.28	419	13.6	4

Parámetros organolépticos

Del mismo modo, también se realizó el análisis organoléptico, correspondiente al Ensayo de prueba de jarras N° 02; estos parámetros fueron percibidos sensorialmente.

A continuación, se muestran los resultados, los cuales tienen influencia en la aceptabilidad del agua.

Tabla 17

Parámetros organolépticos de las muestras de agua tratada en el Ensayo N° 02

Parámetro	**Método**	**Muestra de agua de río Ichu (ml)**	**Antes**	**Después**
Estado Físico	observación	1000	líquido	líquido
Color	observación	1000	turbio	incoloro
Olor	simple inspección	1000	ninguno	ninguno

3.9.6. Determinación de la dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal.

El proceso de búsqueda de la dosis óptima del coagulante a base de mucilago de nopal (*Opuntia – ficus indica)* para tratar turbiedades entre 1561 a 1568 NTU, requirió la ejecución de dos Ensayos de prueba de jarras presentadas con anterioridad con numeración 01 y 02.

El ensayo N° 01 sirvió a manera de pre prueba en el proceso de búsqueda de la dosis óptima de coagulante natural, por lo cual se inició el tratamiento con la aplicación de un rango de dosificación de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L consideradas según referencias bibliográficas, obteniendo como resultado que la dosis de 40 ml/L consiguió los valores de mayor porcentaje de remoción de turbiedad al 99.53 %, 99.49 % y 99.51 %.

Continuando con la investigación, se consideró conveniente realizar el Ensayo de prueba de jarras N° 02 debido a que la dosis óptima debía ser aquella que produjera la más rápida desestabilización de las partículas con el empleo de menor cantidad de coagulante natural, motivo por el cual se aplicó un nuevo rango de dosificación a partir de la dosis de 40 ml/L, dosis que resultó ser la más eficiente en el ensayo N° 01 de pre prueba. Se aplicó un nuevo rango de dosificación de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L, donde se obtuvo que la dosis de 40 ml/L nuevamente volvió a conseguir los valores de mayor eficiencia de remoción de turbiedad al 99.24%, 99.33% y 99.42%.

Por lo tanto, según esta investigación se establece que la dosis óptima para tratar turbiedades entre 1561 a 1568 NTU corresponde a la dosis de 40 ml/L, consiguiendo un valor promedio de eficiencia de remoción de turbiedad de 99.34 %, el cual fue encontrado en la ejecución del Ensayo de prueba de jarras N° 02.

Tabla 18

Dosis óptima de coagulante a base de mucilago de nopal (Opuntia – ficus indica)

Turbiedad cruda (NTU)	Dosis óptima (ml/L)
1561 a 1568	40

3.9.7. Comparación entre el coagulante a base de mucilago de nopal y el Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Una vez obtenidas la dosis óptima de coagulante fresco de 40 ml/L se realizó la comparación de eficiencia de remoción de turbiedad entre el coagulante químico representado por el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el coagulante natural a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*).

A. Preparación de la dosis de $Al_2(SO_4)_3$ sulfato de aluminio

El cálculo del volumen de la solución de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ se realizó para muestras de agua de río Ichu con valores de turbiedad cruda entre 1561 a 1568 NTU,

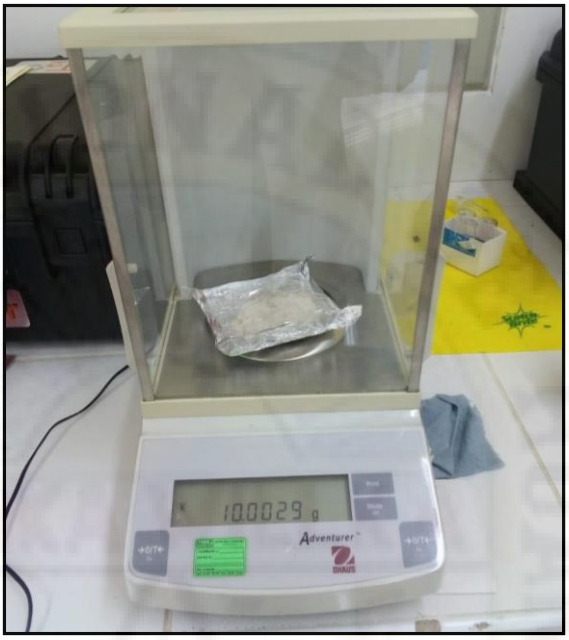
La concentración de solución de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ fue considerada en mg/L, tomando como referencia los datos de la curva de dosificación de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para turbiedades mayores a 1500 NTU calculada por el personal técnico de la planta de tratamiento de agua potable Millpo de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado EMAPA – Huancavelica.

A.1. Preparación de la solución madre al 10%

a) El procedimiento comenzó con el pesado de 10 g de $Al_2(SO_4)_3$.

Figura 66

Pesado de 10 g de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$



b) A continuación, se realizó el aforo empleando una fiola de 100 ml, agitándola para obtener una solución homogénea.

Figura 67

Aforamiento de 10 g de $Al_2(SO_4)_3$ en una fiola de 100 ml

c) Se preparó otra solución de sulfato de aluminio al 2% igual a 20 000 mg/L, extrayendo 20 ml de la solución madre que después se aforó en otra fiola de 100 ml.

Figura 68

Aforamiento de 20 ml de la solución madre de $Al_2(SO_4)_3$ en otra fiola de 100 ml

A.2. Cálculo del volumen de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

La cantidad de sulfato de aluminio que se aplicó a cada jarra para realizar la comparación de eficiencia de remoción de turbiedad, fue calculada mediante la ecuación de balance de masas presentado a continuación:

Fórmula:

$$q = \frac{D \times Q}{C}$$

Donde:

q = Volumen de solución por aplicar (ml)

Q = Capacidad de la jarra en litros

D = Dosis de coagulante en mg/l

C = Concentración de la solución en mg/l

Datos

- q = ¿?
- Q = 1 litro
- D = 40 mg/l (para turbiedades >1500 NTU según la curva de dosificación de la PTAP Millpo de EMAPA HVCA)
- C = 2% = 20 000 mg/l

Reemplazando:

$$\boldsymbol{q} = (40\ mg/L \times 1L \times 1000\ ml/L)/(20\ 000\ mg/L)$$

$$\boldsymbol{q} = 2\ ml$$

Por lo tanto, la dosis aplicada fue 2 ml de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

B. Ensayo de prueba de jarras para la comparación entre el coagulante a base de mucilago de nopal y el Sulfato de Aluminio $\boldsymbol{Al_2(SO_4)_3}$

Se realizó el ensayo de prueba de jarras para comparar la eficiencia de remoción de turbiedad entre el coagulante a base de mucilago de nopal y el Sulfato de Aluminio, para tratar muestras de agua cruda con valores de turbiedad entre 1561 a 1568 NTU.

B.1. Homogeneización de las muestras de agua cruda

Previamente al llenado de las jarras, se realizó la agitación vigorosa de las muestras de agua cruda depositada en un timbo de 25 litros de capacidad, para homogeneizar las porciones de muestra que se analizaron.

B.2. Aforamiento de las muestras de agua de río Ichu

El aforamiento de las muestras se realizó con ayuda de una probeta graduada de 2 L de capacidad, para evitar la variación de volumen igual a 1 L en las seis jarras, se verificó que las paletas de agitación estén ubicadas en el centro, seguidamente se inició

con el proceso de agitación para evitar la sedimentación de partículas.

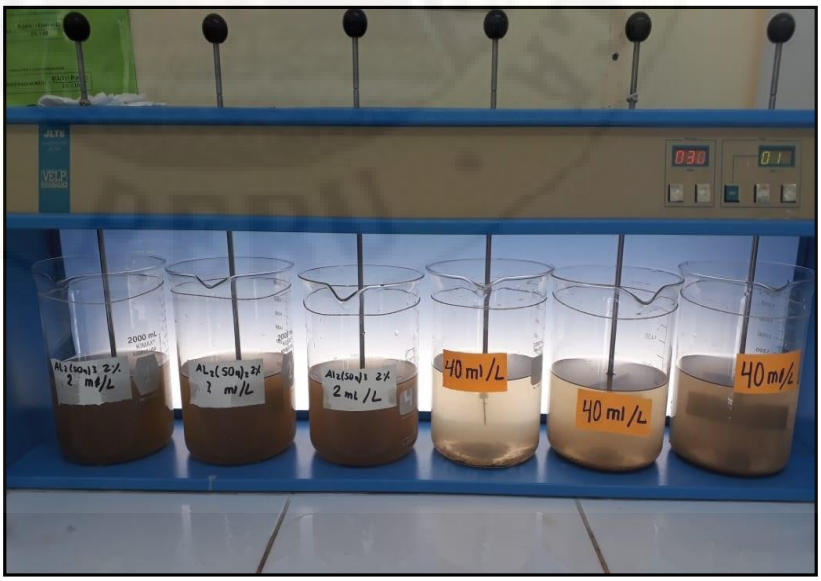
B.3. Aplicación de las dosis de 2 ml de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 40 ml/L de coagulante a base de mucílago de nopal

Se aplicaron tres dosis de 2 ml de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en las tres primeras jarras y tres dosis de 40 ml/L de coagulante de mucilago de nopal en las jarras restantes, con el objetivo de determinar el coagulante más eficiente en la remoción de turbiedades entre 1561 a 1568 NTU de las muestras de agua cruda.

Para medir las dosis de coagulante se usaron jeringas graduadas y estériles, asegurando que exista una mínima variación de tiempo al momento de verter las seis dosis de coagulante natural en las jarras durante la etapa de agitación.

Figura 69

Prueba de jarras para la comparación entre el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el coagulante a base de mucilago de nopal



B.4. Etapa de floculación

A continuación, se puso en funcionamiento el equipo de prueba de jarras programándolo de la siguiente manera:

- **Agitación rápida**: fue programada para un tiempo de 5 segundos a una velocidad de 300 rpm.
- **Etapa de floculación**: fue programada a una velocidad de 40 rpm, para un tiempo de 20 minutos.

La aplicación de los coagulantes se realizó en la etapa de agitación rápida en forma simultánea e instantánea, cuidando que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida.

Durante la etapa de floculación se observó a simple vista que la formación de flóculos y claridad del agua fueron más evidentes en las tres primeras jarras N° 1, 2 y 3, donde se aplicó el tratamiento con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

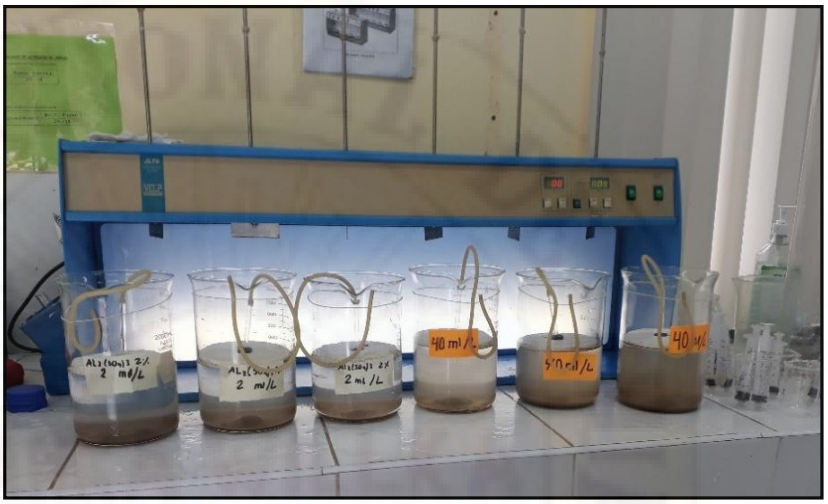
Sin embargo, las jarras N° 4, 5 y 6 donde se aplicaron las dosis de 40 ml de coagulante de mucilago de nopal, presentaron primero la formación de flóculos a un tiempo aproximado de 55 segundos.

B.5. Etapa de sedimentación

Una vez concluido con los tiempos de mezcla y floculación; el equipo de prueba de jarras se apagó automáticamente y se procedió a retirar las jarras, se colocaron los tomadores de muestras, succionando los sifones con ayuda de una jeringa, se atracó el extremo del sifón utilizando una liga colocada alrededor de la jarra y se dejó sedimentar el agua durante 15 minutos.

Figura 70

Sedimentación de flóculos durante el Ensayo de prueba de jarras de comparación



B.6. Recolección de muestras de agua tratada

Culminando el tiempo de sedimentación, se tomaron las muestras de agua tratada de las jarras, en un volumen de 30 ml descartando los primeros 10 ml de muestra retenidos en el sifón.

Figura 71

Recolección de muestras de agua tratada por el sulfato de aluminio y el coagulante de mucílago de nopal

B.7. Medición de parámetros post tratamiento

La medición de los parámetros de turbiedad, conductividad, pH y temperatura de las muestras de agua tratada se realizó empleando un turbidímetro HACH 2100Q y un multiparámetro HACH HQ 40D.

Tabla 19

Comparación de eficiencia de remoción de turbiedad entre $Al_2(SO_4)_3$ y el coagulante a base de mucílago de nopal

Repetición N°	Coagulante	Muestra cruda (ml)	Dosis (ml/L)	Turbiedad cruda (NTU)	Turbiedad tratada (NTU)	Eficiencia de remoción (%)
1	Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	1000	2.00	1564.00	37.40	97.62
2		1000	2.00	1565.00	4.62	99.70
3		1000	2.00	1566.00	4.92	99.69
1	Mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*).	1000	40.00	1564.00	10.90	99.30
2		1000	40.00	1565.00	12.42	99.21
3		1000	40.00	1566.00	16.40	98.95

En la **tabla 19**, se puede observar que el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ obtuvo eficiencias de remoción de turbiedad alcanzando valores de 97.62%, 99.70% y 99.69%, en comparación con el coagulante de mucilago de nopal que presentó valores de eficiencia de remoción de turbiedad de 99.30%, 99.21% y 98.95%.

3.10. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

3.10.1. Técnicas de análisis de datos

A. Índice de willcomb

Es utilizado para observar el tamaño del flóculo producido y se le evalúa cualitativamente según su tamaño y características, puede expresarse numéricamente de acuerdo con el comparador desarrollado por willcomb y es usado para observar que jarra produce partículas más grandes y de mayor velocidad de sedimentación y pueda dejar el agua más cristalina y darles un valor. Así mismos parámetros como: sedimentación violenta, rápida, lenta, casi nula, difusa, baja sedimentación fueron recogidos a través de la observación del proceso de clarificación, que recibe el nombre de nota de floculación o índice de Willcomb.

Tabla 20

Índice de Willcomb

Descripción	Número de Índice	Calidad
Flóc coloidal, ningún tipo de aglutinamiento	0	Muy malo
Flóc visible, muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado	2	Mala
Disperso, flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta	4	Regular
Claro, flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.	6	Aceptable
Bueno, flóculo que se deposita fácil pero no completamente.	8	Buena

Excelente, flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.	10	Óptima

Fuente: (H. G. Quispe, 2012)

3.10.2. Procesamiento de análisis de datos

El procesamiento de análisis estadístico y distribución de frecuencias de variabilidad en el tiempo de cada elemento analizado se realizó mediante el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4, para obtener, los parámetros descriptivos, las medidas de tendencia central de dispersión y gráficos de los parámetros a analizar.

Los estadígrafos de prueba fueron calculados en función a los objetivos del proyecto de investigación, realizando el análisis de varianza a través de Anova y la prueba de medias por Tukey.

El nivel de significancia utilizado es 0.05 que corresponde al error de las repeticiones realizadas, el cual implica que se tiene el 95 % certeza de obtención de los datos

Para validar los datos, se analizó la prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk, aplicado para tamaños de muestras menores a 50, los resultados obtenidos cumplen con el principio de normalidad. Los datos resultantes se recopilaron mediante tablas para cada uno de las pruebas realizadas y sus respectivas repeticiones, los cuales se registraron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados.

A continuación, se presentan los resultados de la investigación obtenidos a partir del proceso de búsqueda de la dosis de coagulante de mucílago de nopal más eficiente para remover turbiedades entre 1561 a 1568 NTU, primero se ejecutó el Ensayo N° 01 a manera de pre prueba aplicando dosis de coagulante natural de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L encontrando que la dosis más eficiente fue 40 ml/L; razón por la cual en el Ensayo N° 02 la dosificación de coagulante natural disminuyó de manera conveniente a partir de la dosis de 40 ml, se aplicaron dosis de 5, 12, 15, 25, 35, 40 ml/L hallando nuevamente que la dosis óptima con mayor remoción de turbiedad fue 40 ml/L.

4.1.1. Eficiencia del coagulante a base de mucilago de nopal en la remoción de la turbiedad.

Los resultados obtenidos muestran en el Ensayo N° 01 ejecutada a manera de pre prueba, que la dosis de 40 ml/L de coagulante natural fue la más eficiente, debido a que consiguió remover 99.51% de turbiedad; razón por la cual se consideró conveniente ejecutar el Ensayo N° 02 donde la dosis de 40 ml/L volvió a destacar consiguiendo remover 99.33 % de turbiedad cruda, esto se debió a que las muestras de agua cruda presentaron turbiedades altas entre 1561 a 1568 NTU favoreciendo la aglutinación de partículas en suspensión para formar partículas más grandes facilitando la remoción de sólidos.

Tabla 21

Resultados de eficiencia (%) de coagulante a base de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad

Ensayo N°	Jarra N°	Muestra cruda (ml)	Dosis de mucílago de nopal (ml/L)	Eficiencia de remoción %
1	1	1000	10	94.44[d]
	2	1000	20	98.67[c]
	3	1000	30	98.97[b]
	4	1000	40	99.51[a]
	5	1000	50	99.42[a]
	6	1000	60	98.45[c]
2	1	1000	5	88.93[d]
	2	1000	12	95.55[c]
	3	1000	15	97.74[b]
	4	1000	25	99.17[a]
	5	1000	35	99.17[a]
	6	1000	40	99.33[a]

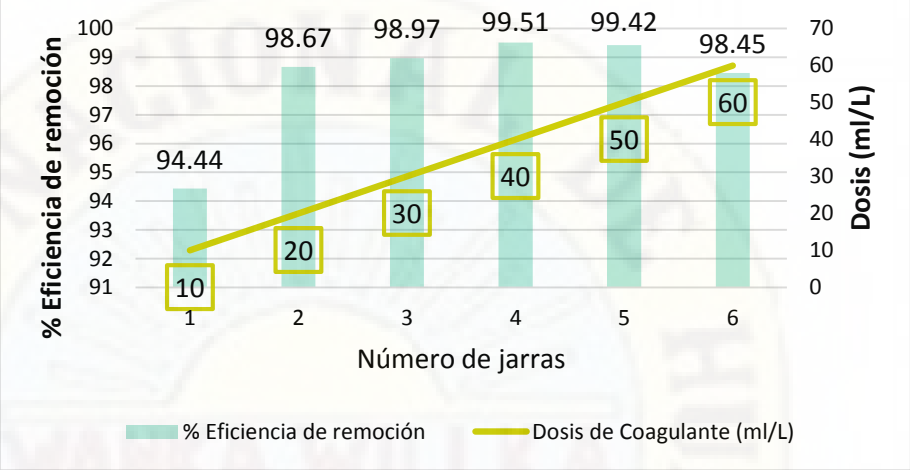
*. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los resultados obtenidos en la **Tabla 21**, muestran que la eficiencia del coagulante a base de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad, varía de acuerdo a la dosificación aplicada.

La **Figura 72** representa los resultados obtenidos en el Ensayo N° 01 ejecutado a manera de pre prueba, en la cual se aplicaron dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L, donde la dosis de 40 ml/L destaca por ser la más eficiente consiguiendo remover 99.51% de turbiedad cruda

Figura 72

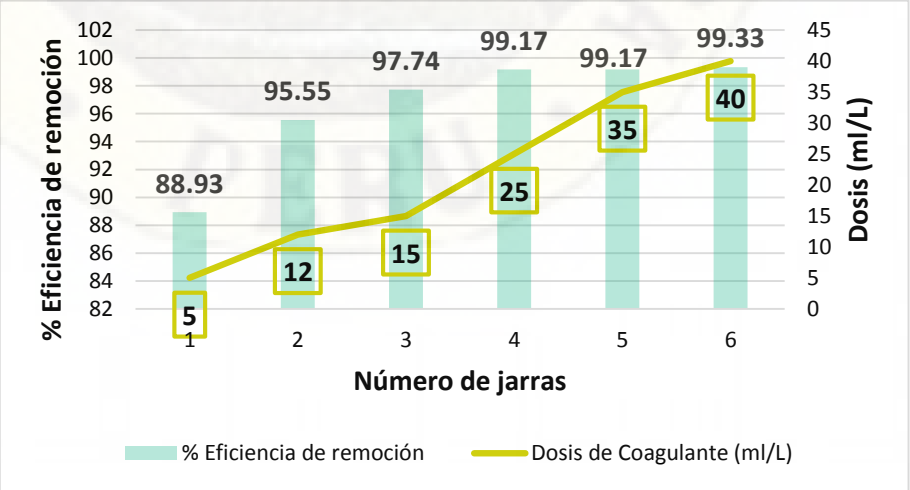
Variación de la eficiencia (%) del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad, con dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L



La **Figura 73** representa los resultados obtenidos en el Ensayo N° 02 ejecutado a partir de los resultados obtenidos en el primer ensayo, se aplicaron dosis de 1, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L, donde la dosis de 40 ml/L volvió a destacar por ser la más eficiente consiguiendo remover 99.33% de turbiedad cruda.

Figura 73

Variación de la eficiencia (%) del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad, con dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L



4.1.2. Dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal

Los resultados obtenidos muestran en el Ensayo N° 01 ejecutada a manera de pre prueba, que la dosis de 40 ml/L de coagulante natural fue la más eficiente, debido a que consiguió remover 99.51% de turbiedad; razón por la cual se consideró conveniente ejecutar el Ensayo N° 02 donde la dosis de 40 ml/L volvió a destacar consiguiendo remover 99.33 % de turbiedad cruda, esto se debió a que las muestras de agua cruda presentaron turbiedades altas entre 1561 a 1568 NTU favoreciendo la aglutinación de partículas en suspensión para formar partículas más grandes facilitando la remoción de sólidos.

Tabla 22

Resultados de dosis óptima (ml/L) de coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad

Ensayo N°	Jarra N°	Muestras de agua cruda (ml)	Eficiencia %	Dosis de mucilago (ml/L)
Ensayo 1	1	1000	94.44	10^{d}
	2	1000	98.66	20^{b}
	3	1000	98.97	30^{b}
	4	1000	99.50	40^{a}
	5	1000	99.41	50^{a}
	6	1000	98.44	60^{c}
Ensayo 2	1	1000	88.92	5^{d}
	2	1000	95.54	12^{c}
	3	1000	97.73	15^{b}

	4	1000	99.17	25[a]
	5	1000	99.16	35[a]
	6	1000	99.33	40[a]

Los resultados obtenidos en la **Tabla 22**, muestran que la dosis de coagulante a base de mucílago de nopal más óptima para remover valores de turbiedad cruda entre 1561 a 1568 NTU, corresponde a la dosis de 40 ml/L; esto debido a que esta dosis logró remover 99.51 % de turbiedad en el Ensayo N° 01 y volvió a destacar en el Ensayo N° 02 removiendo 99.33% de turbiedad.

4.1.3. Turbiedad post tratamiento

La **tabla 23**, muestra los resultados obtenidos en el Ensayo N° 01 el cual fue ejecutado a manera de pre prueba en proceso de búsqueda de la dosis de coagulante de mucílago de nopal más eficiente para remover turbiedades entre 1561 a 1568 NTU; el valor mínimo de turbiedad obtenido post tratamiento fue 7.75 NTU, conseguido con la dosis de 40 ml/L de coagulante a base de mucílago de nopal; razón por la cual se consideró conveniente ejecutar el Ensayo N° 02 donde se obtuvo el valor mínimo de turbiedad tratada de 10.47 NTU conseguido nuevamente por la dosis de 40 ml/L de coagulante natural, esto se debió a que las muestras de agua cruda presentaron turbiedades altas entre 1561 a 1568 NTU favoreciendo la aglutinación de partículas en suspensión para formar partículas más grandes facilitando la remoción de sólidos.

Tabla 23

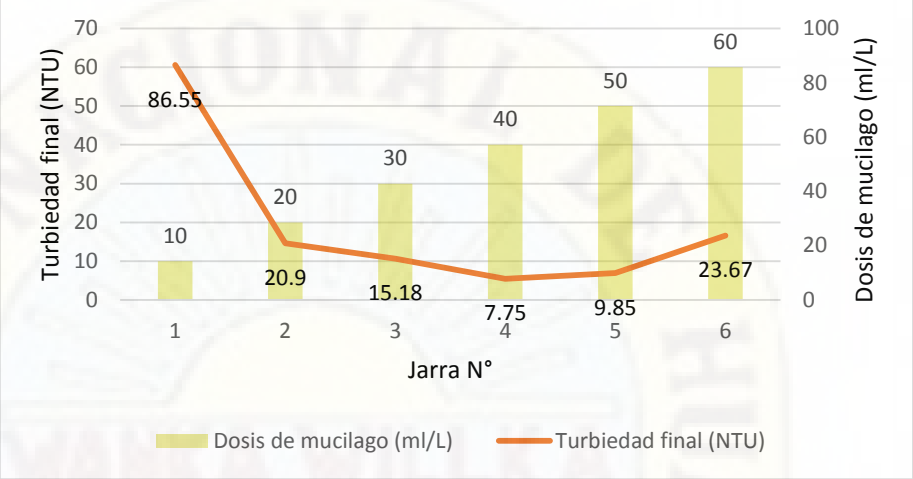
Resultados de turbiedad (NTU) después del tratamiento con dosis de coagulante de mucilago de nopal

Ensayo N°	Jarra N°	Dosis de mucilago (ml/L)	Muestra de agua cruda (ml)	Turbiedad cruda (NTU)	Turbiedad tratada (NTU)
Ensayo 1	1	10	1000	1563	86.55[d]
	2	20	1000	1563	20.90[c]
	3	30	1000	1563	15.18[b]
	4	40	1000	1563	7.75[a]
	5	50	1000	1563	9.85[a]
	6	60	1000	1563	23.67[c]
Ensayo 2	1	5	1000	1565	173.30[d]
	2	12	1000	1565	69.70[c]
	3	15	1000	1565	35.40[b]
	4	25	1000	1565	12.97[a]
	5	35	1000	1565	13.07[a]
	6	40	1000	1565	10.47[a]

En la **figura 74**, se observó la variación de los valores de turbiedad post tratamiento con dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L de coagulante de mucilago de nopal obtenidos en el Ensayo N° 01; donde el valor mínimo de turbiedad tratada fue de 7.75 NTU, conseguido con la aplicación de la dosis de 40 ml/L de coagulante natural.

Figura 74

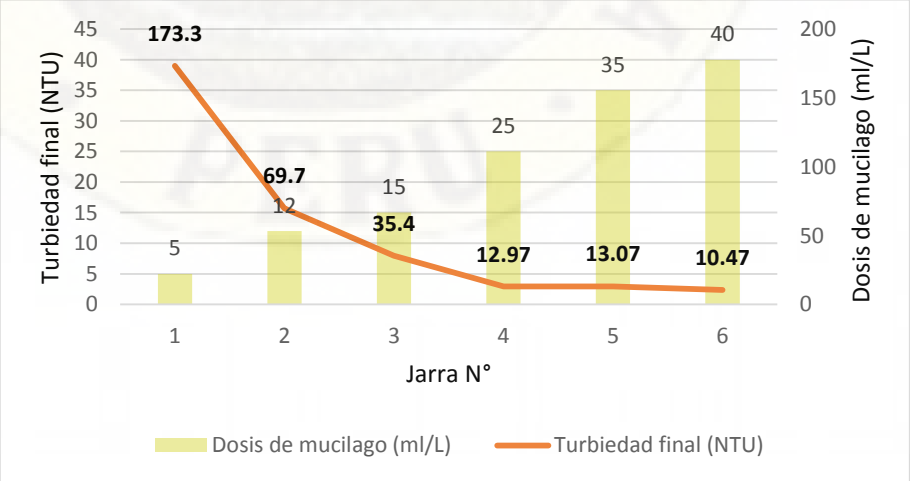
Variación de la turbiedad (NTU) tratada en función a las dosis aplicadas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L de coagulante natural



En la **figura 75**, se observó la variación de los valores de turbiedad post tratamiento con dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante de mucilago de nopal obtenidos en el Ensayo N° 02; donde el valor mínimo de turbiedad tratada fue de 10.47 NTU, conseguido nuevamente con la aplicación de la dosis de 40 ml/L.

Figura 75

Variación de la turbiedad (NTU) tratada en función a las dosis aplicadas de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante natural



4.1.4. Comparación de eficiencia de remoción de turbiedad entre el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio.

La **Tabla 24,** muestra los resultados obtenidos en la comparación de eficiencia entre el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio, para la remoción de turbiedad de muestras de agua cruda entre 1561 a 1568 NTU; la comparación se realizó con la dosis más eficiente de coagulante de mucilago de nopal que fue 40 ml/L obtenida a partir de los ensayos de pruebas de jarras anteriormente ejecutados y la dosis de 2 ml de sulfato de aluminio, a una concentración de 2% para turbiedades mayores a 1500 NTU.

A través del ensayo de prueba de jarras de comparación se demostró que la dosis de 40 ml/L de coagulante natural fue más eficiente, debido a que consiguió un 99.15% de remoción de turbiedad cruda; la dosis de 2 ml de sulfato de aluminio logró obtener un 99.00 % de remoción de turbiedad cruda.

Tabla 24

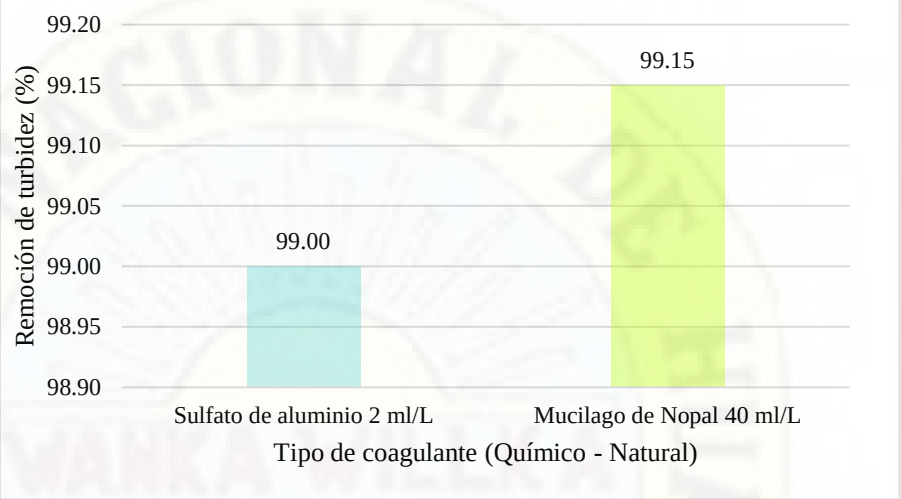
Resultados de la comparación de eficiencia (%) entre el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio

Jarra N°	Coagulante	Dosis (ml/L)	Muestra de agua cruda (ml)	Turbiedad cruda (NTU)	Turbiedad tratada (NTU)	Remoción de turbidez (%)
1 - 3	Sulfato de aluminio	2	1000	1565	15.65	99.00[a]
4 - 6	Mucilago de Nopal	40	1000	1565	13.24	99.15[a]

En la **Figura 76,** se observa que la dosis de 40 ml/L de coagulante a base de mucilago de nopal fue más eficiente en comparación a la dosis de 2 ml de sulfato de aluminio para remover valores de turbiedad de muestras de agua cruda entre 1561 a 1568 NTU.

Figura 76

Comparación de eficiencia (%) entre el sulfato de aluminio y el coagulante de mucilago de nopal



4.2. Análisis de datos

Se realizó, el análisis de datos para garantizar la validez de los resultados, debido a que es muy importe conocer si la información obtenida en el proceso de recolección de datos presenta una distribución normal o no, a partir de ello se considerará la opción de emplear pruebas paramétricas o no paramétricas que servirán para realizar la prueba de hipótesis.

4.2.1. Prueba de normalidad de datos

Para comprobar la normalidad de los datos se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk, porque la cantidad de datos evaluados de cada parámetro son menores a 50 datos (n < 50).

Tabla 25.

Test de normalidad

Test de Shapiro Wilk	Unidad de media	Sig	N	P-valor

Eficiencia de remoción de coagulante a base de mucilago de nopal	% de remoción	0.05	18	0.6361
Dosis óptima	ml/L	0.05	18	0.8517
Turbiedad final	NTU	0.05	18	0.7703
Comparación de % de remoción entre coagulante a base de mucilago de nopal y sulfato de aluminio	% de remoción	0.05	18	0.5714

Se realizó el test de normalidad, obteniendo un p valor superior a al nivel de significancia 0.05 con el estadístico de Shapiro-Wilk, por lo tanto se concluye que los datos de eficiencia de remoción, dosis óptima, turbiedad post tratamiento y comparación de eficiencia entre coagulante fresco de mucilago de nopal y sulfato de aluminio para remoción de turbiedad, presentan un comportamiento normal.

4.2.2. Prueba de homogeneidad de datos

Para comprobar la homogeneidad de los datos se utilizó el test de Levene; para la homogeneidad de varianzas del coagulante de mucilago de nopal.

Tabla 26.

Test de Levene para homogeneidad de varianzas de mucilago de nopal con dosis de 10 – 60 ml/l

Test de homogeneidad de varianza (Levene)	Unidad de media	Sig	N	P-valor
Eficiencia de remoción	% de remoción	0.05	18	2.10
Dosis óptima	ml/l	0.05	18	2.10
Turbiedad final	NTU	0.05	18	1.98

La prueba de homogeneidad de varianza se realizó mediante el test de levene, para la eficiencia de remoción, dosis óptima y turbiedad final mucilago de nopal para las dosis de 10 – 60 ml/L, el p-valor es 2.10, 2.10 y 1.98 respectivamente por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de homogeneidad de las varianzas y se concluye que los tipos de dosis mucilago de nopal tienen varianzas homogéneas.

Tabla 27

Test de Levene para homogeneidad de varianzas de mucilago de nopal con dosis de 05 – 40 ml/L

Test de homogeneidad de varianza (Levene)	Unidad de media	Sig	N	P-valor
Eficiencia de remoción	% de remoción	0.05	18	2.59
Dosis óptima	ml/l	0.05	18	2.59
Turbiedad final	NTU	0.05	18	2.59

La prueba de homogeneidad de varianza se realizó mediante el test de levene, para la eficiencia de remoción, dosis óptima y turbiedad final mucilago de nopal para las dosis de 5 – 40 ml/L, el p-valor es 2.59, 2.59 y 2.59 respectivamente por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de homogeneidad de las varianzas y se concluye que los tipos de dosis mucilago de nopal tienen varianzas homogéneas.

Tabla 28

Test de Levene para homogeneidad de varianzas de la comparación del sulfato de aluminio y mucilago de nopal

Test de homogeneidad de varianza (Levene)	Unidad de media	Sig	N	P-valor
Comparación entre sulfato de	% de remoción	0.05	6	3.82

aluminio vs mucilago de nopal	

La prueba de homogeneidad de varianza se realizó mediante el test de levene, para la comparación entre el Sulfato de aluminio vs mucilago de nopal, el p-valor es 3.82 por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de homogeneidad de las varianzas y se concluye que los tipos de dosis mucilago de nopal y sulfato de aluminio tienen varianzas homogéneas.

4.3. Prueba de hipótesis

Como señala (Sampieri, 2010) la contratación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo α.
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
4. Establecer la región crítica.
5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño "n".
6. Rechazar la hipótesis nula (Ho) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar) = en el otro caso.

4.3.1. Formulación de hipótesis

A. Hipótesis general.

Ha: La eficiencia del coagulante fresco a base de mucílago de nopal *(Opuntia ficus – indica)* en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica – 2019 presenta una eficiencia mayor o igual al 60%.

$$\mu \geq 60\ \%$$

Ho: La eficiencia del coagulante fresco a base de mucílago de nopal *(Opuntia ficus – indica)* en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica – 2019 presenta una eficiencia menor al 60%.

$$\mu < 60\ \%$$

B. Hipótesis especificas

Hipótesis especifica 1:

Ha: La dosis óptima de coagulante natural de mucílago de nopal para la remoción de turbidez del agua del rio Ichu es mayor o igual a 30 ml/L.

$$\mu \geq 30\ ml/L$$

Ho: La dosis óptima de coagulante natural de mucílago de nopal para la remoción de turbidez del agua del rio Ichu es menor a 30 ml/L.

$$\mu < 30\ ml/L$$

Hipótesis especifica 2:

Ha: la turbidez de las muestras de agua del río Ichu después del tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal es mayor o igual a 5 NTU

$$\mu \geq 5\ NTU$$

Ho: La turbidez de las muestras de agua del rio Ichu después del tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal es menor a 5 NTU.

$$\mu < 5\ NTU$$

Hipótesis especifica 3

Ha: La eficiencia de los tratamientos para la remoción de turbidez del agua del río Ichu en la comparación entre el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio es mayor o igual al 99.5%.

$$\boldsymbol{\mu \geq 99.5\%}$$

Ho: La eficiencia de los tratamientos para la remoción de turbidez del agua del rio Ichu en la comparación entre el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio es menor a 99.5%.

$$\boldsymbol{\mu < 99.5\%}$$

4.3.2. Nivel de significancia

En la presente investigación se trabajó, con un error de 5 %; es decir: α = 0.05, por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con 1- α = 0.095.

4.3.3. Estadístico de prueba

El estadístico de prueba utilizado fue el "Análisis de varianza que es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas" (Sampieri, 2010).

Para determinar cuál de los tratamientos es más eficiente se utilizó la prueba de medias de Tukey.

Valor crítico y regla de decisión

Para la prueba de una cola con α = 0.05 en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de $F\alpha, V_1, V_2$.

$K - 1 = 6 - 1 = 5$

$K(n-1) = 6(18 - 1) = 84$

$F_{tabla} = 5/84 = 2.78$

$F_{cal} \leq$ *que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis nula*

$F_{cal} \geq$ *que el valor del F de la tabla se rechaza la hipótesis nula*

4.3.4. Estadígrafos de prueba

Para cálculo de los estadígrafos de prueba de la investigación, se realizó el análisis de varianza ANOVA y la prueba de medias por Tukey.

A. Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica)* en la remoción de la turbiedad

Se realizó el análisis de varianza para la eficiencia de las dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L de coagulante de mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)* en la remoción de la turbiedad de las muestras de agua del rio Ichu. Presentaron efecto significativo (P < 0.05).

Tabla 29.

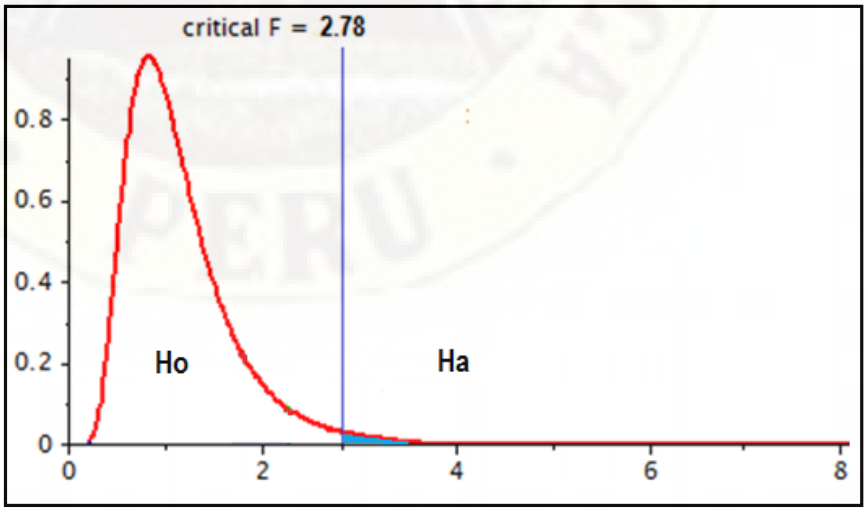
Análisis de varianza (ANOVA) para eficiencia del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	245.7846680	49.1569336	2554.52	<.0001
Error	12	0.2309174	0.0192431		
Total corregido	17	246.0155854			

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Figura 77

Valor crítico y el valor de Fisher para eficiencia de del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad



El valor F calculado es igual a 2554.52 > que el valor de F de la tabla igual 2.78.

La **Tabla 30**, muestra el análisis de comparación de medias de Tukey a nivel de significancia de alpha 0.05, para el cual no presenta diferencia estadística de la dosis óptima de (5 a 40 ml/L) de coagulante de mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*. Se puede observar que no existen diferencias estadísticas entre las dosis de mucilago aplicadas, la dosis óptima fue 40 ml/L, debido a que obtuvo el máximo valor de eficiencia de 99.33[a] en la remoción de turbiedad. Con respecto a la diferencia mínima significativa (delta) 0.35, siendo la eficiencia 88.93[d] ml/L.

Tabla 30.

Prueba de medias Tukey de la eficiencia del coagulante de mucilago de nopal en la remoción de turbiedad

Tukey Agrupamiento	Media	N	Dosis
A	99.3311	3	40
AB	99.1715	3	25
AB	99.165	3	35
B	97.7379	3	15
C	95.5463	3	12
D	88.9264	3	5

Tukey valores con letras diferentes difieren entre sí.

Decisión estadística

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y aceptamos la hipótesis alterna (Ha) porque existe significancia entre la eficiencia de los tratamientos con dosis de coagulante para la remoción de turbiedad; además la prueba de medias (Tukey) determinó el agrupamiento más destacado para el tratamiento más eficiente de 99.33ª %.

Por lo tanto, afirmamos que: los tratamientos para **la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del rio Ichu - Huancavelica – 2019 el mayor al 60 %.** Demostrando que existe significación en eficiencia en la remoción, para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

B. Dosis óptima de coagulante de mucílago de nopal para la remoción de turbiedad

Se realizó el análisis de varianza para la dosis óptima de coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) que fue 40ª ml/L, obtenida finalmente a partir de la aplicación de dosis de 5, 12, 15, 25, 35 y 40 ml/L, las cuales presentaron efecto significativo (P<0.05).

Tabla 31

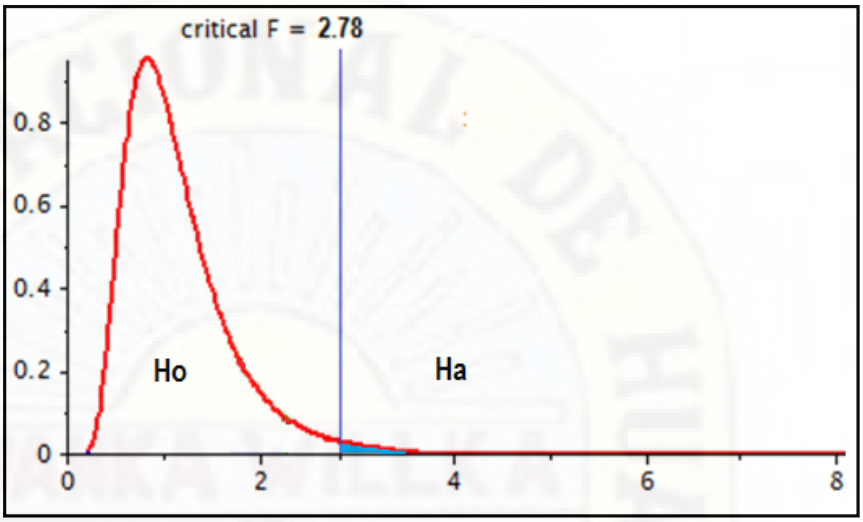
Análisis de varianza (ANOVA) para las dosis de coagulante de mucílago de nopal en la remoción de turbiedad

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	245.7846680	49.1569336	2554.52	<.0001
Error	12	0.2309174	0.0192431		
Total corregido	17	246.0155854			

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Figura 78

Valor crítico y valor de Fisher para dosis del coagulante de mucílago de nopal



Valor F calculado es igual a 2554.52 > que el valor de F de la tabla igual 2.78.

La **Tabla 32**, muestra el análisis de comparación de medias de Tukey a nivel de significancia de alpha 0.05, para el cual no presenta diferencia estadística de la dosis óptima de (5 a 40 ml/L) del coagulante de mucilago de nopal. Se puede observar que no existen diferencias estadísticas entre las dosis de mucilago aplicadas, la dosis óptima fue 40 ml/L, debido a que obtuvo el máximo valor de eficiencia de 99.33[a] % en la remoción de turbiedad con respecto a la diferencia mínima significativa (delta) 0.35, siendo la eficiencia 88.93[d] %.

Tabla 32.

Prueba de medias Tukey de las dosis de coagulante de mucílago de nopal para la remoción de turbiedad

Tukey Agrupamiento	Media	N	Eficiencia
A	40	3	99.3311

AB	25	3	99.1715
AB	35	3	99.165
B	15	3	97.7379
C	12	3	95.5463
D	5	3	88.9264

Tukey valores con letras diferentes difieren entre sí.

Decisión estadística

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y aceptamos la hipótesis alterna (Ha) porque existe significancia entre los tratamientos con dosis de coagulante para la remoción de turbiedad; además la prueba de medias (Tukey) determinó el agrupamiento más destacado para el tratamiento más eficiente con la dosis de 40ª ml/L.

Por lo tanto, afirmamos que: las dosis **del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de la turbiedad del rio Ichu - Huancavelica – 2019 son diferentes.** Demostrando que existe mayor significación en la dosis optima, para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

C. Turbiedad de las muestras de agua del rio Ichu después del tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal.

Se realizó el análisis de varianza para la turbiedad del agua del rio Ichu después de aplicar los tratamientos con dosis de (5 a 40 ml/l) del coagulante de mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*, presentaron efecto **significativo** ($P<0.05$).

Tabla 33

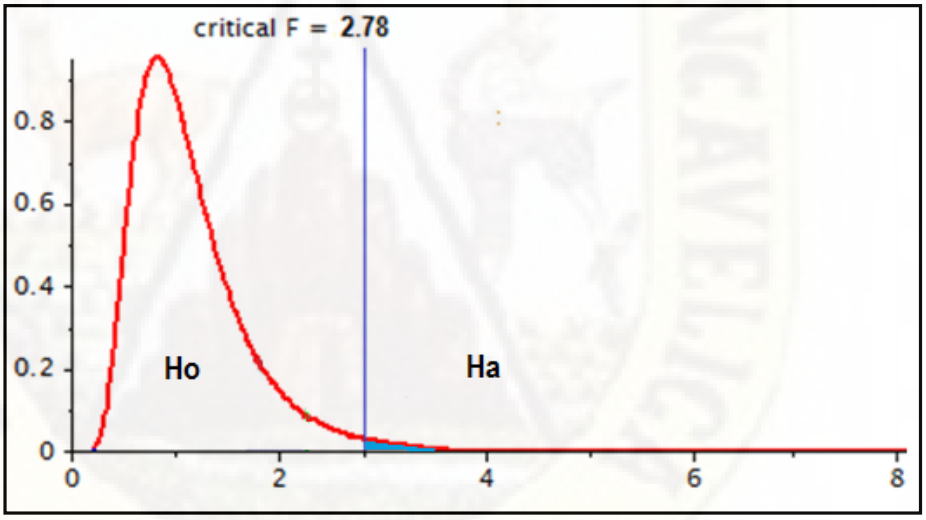
Análisis de varianza (ANOVA) para turbiedad post tratamiento con el coagulante a base de mucílago de nopal

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	60196.68500	12039.33700	2717.68	<.0001
Error	12	53.16000	4.43000		
Total corregido	17	60249.84500			

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Figura 79

Valor crítico y valor de Fisher para turbiedad post tratamiento



Mi valor F calculado es igual a 2717.68 > que el valor de F de la tabla igual 2.78.

La **tabla 34**, muestra el análisis de comparación de medias de Tukey a nivel de significancia de alpha 0.05, para el cual presenta diferencia estadística de la turbiedad post tratamiento con dosis de (5 a 40 ml/L) del coagulante de mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica),* obtenidas finalmente en el Ensayo N° 02. Se puede observar que existe

diferencias estadísticas entre las dosis de mucilago como máximos valores de 10.467[a] NTU de la dosis 40 ml/L.

Tabla 34.

Prueba de medias Tukey para turbiedad post tratamiento

Tukey Agrupamiento	Media	N	Dosis
A	10.467	3	40
B	12.967	3	25
C	13.067	3	35
D	35.400	3	15
D	69.700	3	12
D	173.300	3	5

Tukey valores con letras diferentes difieren entre sí.

Decisión estadística

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y aceptamos la hipótesis alterna (Ha) porque existe significancia entre los valores de turbiedad post tratamiento con dosis de coagulante de mucílago de nopal; además la prueba de medias (Tukey) determinó el agrupamiento más destacado para el valor de turbiedad post tratamiento de 10.467[a] NTU obtenido con la dosis de 40 ml/L.

Por lo tanto, se afirma que: **La turbidez de las muestras de agua del rio Ichu después del tratamiento con el coagulante de mucílago nopal es mayor a 5 NTU.** Demostrando que existe mayor significación en turbidez, para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

D. Comparación entre el coagulante fresco a base de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio.

Se realizó el análisis de varianza para comparar la remoción de la turbidez del agua del rio Ichu con el coagulante de mucilago de nopal y sulfato de aluminio. Para comparar la remoción del coagulante de mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)* y sulfato de aluminio **no presentaron efecto significativo** (P>0.05).

Tabla 35

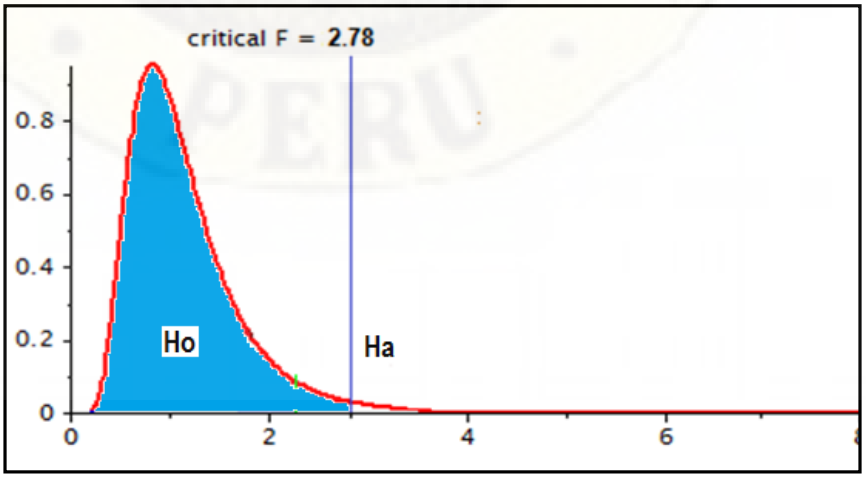
Análisis de varianza (ANOVA) para comparación de eficiencia de remoción entre coagulantes

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.03480817	0.03480817	0.05	0.8381
Error	4	2.92983667	0.73245917		
Total corregido	5	2.96464483			

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Figura 80

Valor crítico y valor de Fisher para comparación de dosis óptimas entre coagulantes



Mi valor F calculado es igual a 0.05 ≤ que el valor de F de la tabla igual 2.78.

La **tabla 36**, muestra el análisis de comparación de medias de Tukey a nivel de significancia de alpha 0.05, en la cual no se presentó diferencia estadística de la dosis de 2 ml de sulfato de aluminio y 40 ml/L del coagulante de mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*. Se puede observar que no existen diferencias estadísticas entre los valores de eficiencia al 99.15[a] de la dosis de 40 ml/L de mucilago y al 99.00[a] de la dosis de 2 ml/L de sulfato de aluminio en la remoción de turbiedades crudas.

Tabla 36.

Prueba de medias Tukey para la comparación de la eficiencia de las dosis de coagulante de mucilago de nopal y sulfato de aluminio

Tukey Agrupamiento	Media	N	Dosis
A	99.1543	3	40
A	99.0020	3	2

Tukey valores con letras diferentes difieren entre sí.

Decisión estadística

Rechazamos la hipótesis alterna (Ha) y aceptamos la hipótesis nula (Ho), porque no existe significancia; además la prueba de medias (Tukey) muestra que los valores de turbidez de 99.15[a] y 99.00[a] % son iguales.

Por lo tanto, se afirma que: **La remoción de turbiedad del agua del rio Ichu con el coagulante de mucilago de nopal y el sulfato de aluminio son iguales**. Demostrando que existe mayor significación en remoción de la turbidez (mucilago de nopal y sulfato de aluminio), para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación demostraron que el coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) alcanzó un promedio de eficiencia de 99.33 % en la remoción de valores de turbiedad cruda de las muestras de agua del río Ichu que presentaron valores entre 1561 a 1568 NTU, este resultado concuerda con los estudios encontrados según (Lozano *et al.* 2015), el cual obtuvo una eficiencia de remoción de turbiedad de 96.98 % para una turbiedad inicial de 97.67 NTU. Asimismo (Alcazar *et al.* 2015), obtuvieron en su investigación una eficiencia de remoción de 93.15% para una turbiedad inicial de 75.5 NTU, por otro lado (Lozano, 2018), quien trabajó con una turbiedad inicial de 55 NTU logró obtener una eficiencia del 82 % de remoción, del mismo modo (López, 2018), también obtuvo como resultado de su investigación una eficiencia de remoción de 86 % para una turbiedad inicial de 500 NTU. Por ello se demostró que a diferentes condiciones de turbiedad inicial, el coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) presenta una eficiencia alta en la remoción de la turbiedad del agua cruda.

Asimismo, se determinó que la dosis de 40 ml/L de coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) fue la más óptima para remover valores de turbiedad cruda entre 1561 a 1568 NTU, obteniendo un valor de turbiedad después del tratamiento de 10.47 NTU. A comparación con los resultados obtenidos por (Jiménez y Gina, 2012), donde analizaron turbiedades iniciales con valores entre 3.26 a 1000 NTU, se muestra que para una turbiedad inicial de 1000 NTU se empleó una dosis óptima de 1 ml/L de coagulante de mucilago de nopal, removiendo la turbiedad inicial a 46.1 NTU; (Guevara, 2019), empleó el coagulante de mucílago de nopal en estado físico sólido, por lo cual obtuvo como resultado de su investigación una dosis óptima de 30 mg, logrando reducir la turbiedad inicial de 83 NTU a 44.99 NTU; del mismo modo (Lozano, 2018), obtuvo una dosis óptima de 0.50 ml reduciendo la turbiedad de 55 NTU a 10 NTU resultado muy similar encontrado en esta investigación, al

igual que (Morejón, 2017), quien obtuvo una dosis optima de 25 ml de mucilago de nopal removiendo la turbiedad inicial a 5.89 NTU.

Además, se determinó los valores de turbiedad después del tratamiento con el coagulante de mucílago de nopal, para las muestras de agua del río Ichu, donde se obtuvo el valor mínimo de turbiedad tratada de 10.47 NTU conseguido con la dosis de 40 ml/L, esto se debió a que las muestras de agua cruda presentaron turbiedades altas entre 1561 a 1568 NTU favoreciendo la aglutinación de partículas en suspensión para formar partículas más grandes facilitando la remoción de sólidos. A comparación, el resultado de la investigación sobre la clarificación del agua realizada por (Lozano *et al.* 2015), a partir de una turbiedad inicial de 97.67 NTU donde se logró obtener un valor de turbiedad final de 2 NTU, se encuentra por debajo del valor de referencia de turbidez de 5 NTU para el agua potable indicada por la OMS. Por otro lado (Vaca *et al.*, 2014), analizaron la efectividad del mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales para una turbiedad inicial de 289 y 367 UNT, obteniendo como resultado una turbiedad de final óptimo de 30 NTU; los resultados de la investigación de (Lozano, 2018), quien trabajo con una turbiedad inicial de 55 NTU, quien obtuvo como resultado una turbiedad similar a esta investigación debido a que obtuvo una turbiedad final de 10 NTU; igualmente (Guevara, 2019), obtuvo como resultado una turbiedad final de 44.99 NTU, reduciendo la turbiedad inicial de 83 NTU.

Adicionalmente, se realizó la comparación entre el coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para la remoción de turbiedad de muestras de agua del río Ichu con valores entre 1561 a 1568 NTU, los resultados indicaron que el coagulante natural logró remover hasta 99.15 % de turbiedad cruda, siendo ligeramente más eficiente con respecto al sulfato de aluminio que logró remover hasta 99.00 %. A comparación con los resultados de (Guevara, 2019) quien comparó el rendimiento en la clarificación del agua para consumo humano entre los coagulantes de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y sulfato de aluminio, trabajando con una turbiedad inicial de 83 NTU, logró obtener valores de eficiencia de remoción de

turbiedad de 74.7 % con el sulfato de aluminio y 54.2 % con el mucilago de nopal, evidenciando que el sulfato de aluminio es más eficiente en esas condiciones. De igual manera (Pulido, 2020), comparó ambos coagulantes donde determina un 94 % de eficiencia para el sulfato de aluminio y un 76% para el coagulante de mucilago de nopal, evidenciando mayor eficiencia del sulfato de aluminio. Asimismo (López, 2018), que trabajó con una turbiedad inicial de 500 NTU evidenció que el sulfato de aluminio es más eficiente en la remoción de la turbidez al 86% a comparación del cactus Opuntia ficus-indica; es decir, los resultados obtenidos por (Guevara, 2019), (Pulido, 2020) y (López, 2018) demuestran que el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ es más eficiente con respecto al coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Por lo contrario, los resultados obtenidos en la presente investigación, demuestran que el coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) es ligeramente más eficiente en la remoción de la turbiedad con respecto al sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, considerando que la turbiedad inicial de las muestras de agua presentó valores entre 1561 a 1568 NTU, a comparación de los autores citados anteriormente quienes trabajaron con turbiedades iniciales menores a 500 NTU.

CONCLUSIONES

- El coagulante natural de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) obtuvo una eficiencia de 99.33 % en la remoción de la turbiedad de las muestras de agua del río Ichu que presentaron valores entre 1561 a 1568 NTU, logrando disminuir la turbiedad inicial hasta 10.47 NTU; concluyendo que el coagulante de mucilago de nopal es muy eficiente.
- Se concluye que la dosis de 40 ml/L de coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) fue la más óptima para remover valores de turbiedad cruda entre 1561 a 1568 NTU, esta dosis logró obtener el mayor porcentaje de eficiencia de remoción de 99.33 %.
- Se determinaron los valores de turbiedad después del tratamiento con el coagulante de mucílago de nopal para las muestras de agua del río Ichu, donde se obtuvo el valor mínimo de turbiedad tratada de 10.47 NTU con dosis óptima de 40 ml/L, por lo tanto, se concluye que los valores de turbiedades altas entre 1561 a 1568 NTU de las muestras de agua cruda, favorecieron la aglutinación de partículas en suspensión para formar partículas más grandes facilitando la remoción de sólidos.
- A partir de la comparación entre el coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para la remoción de turbiedad de muestras de agua del río Ichu, se concluye que el coagulante natural logró remover hasta 99.15 % de turbiedad cruda, siendo ligeramente más eficiente con respecto al sulfato de aluminio que logró remover hasta 99.00 %.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más investigaciones en la región de Huancavelica, referentes a la aplicación del coagulante a base de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) para tratamiento de agua para consumo humano, aguas residuales y lixiviados debido a que este coagulante natural demostró ser muy eficiente en la remoción de la turbidez del agua y presenta una mínima o nula toxicidad.
- Del mismo modo, se recomienda realizar más investigaciones en la región de Huancavelica, referentes a la aplicación del coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en el tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de reemplazar y/o ayudar al sulfato de aluminio, debido a que este coagulante genera lodos que no pueden ser aprovechados como biosólidos porque tienen un impacto negativo en el suelo y agua debido a su ecotoxicidad.
- Se recomienda realizar investigaciones para encontrar opciones naturales que ayuden a conservar el coagulante de mucilago de nopal líquido por mayor tiempo, con el objetivo de evitar cambios en la composición físico – químico del coagulante natural que alteren la eficiencia en la remoción de turbidez.
- Asimismo, se recomienda a la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica, la implementación del laboratorio con equipos necesarios para realizar investigaciones en tema de tratamientos de agua, específicamente el equipo de pruebas de jarras, un turbidímetro y un colorímetro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cruz, R. K. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Jun. 2018, Vol. 29 Nº 3 2018*.

Alcázar, L., Daniela. (2015). *Aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (Opuntia ficus indica) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla*. Universidad Mayor de San Andrés.

Alcázar León, D. (2015). *"Aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (opuntia ficus indica) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla"*. Universidad Mayor de San Andrés.

Alcazar León, D., Huanca, E., & Graciela [Tutor. (2015). *Aplicación de un coagulante obtenido a partir de la penca de tuna (opuntia ficus indica) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla* [Thesis]. http://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9335

Apaza, H. (2013). *Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa* (p. 81).

Argentina Alcántara de Soto. (1999). *Ingeniería Sanitaria i*. Fernand Lanore.

Baltodano, E., & Millones, E. (2013). *Estudio de la concentración de mucilago de vegetales en la velocidad de floculación del relave de la concentradora Chotal – Motil, Trujillo – Perú*. Universidad Nacional de Trujillo.

Bravo, M., & Gutiérrez, J. L. (2016). *Remoción de solidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del rio Pollo en Otuzco empleando semillas de tara (Caesalpinia espinosa) en la región de Trujillo – Perú*. Universidad Nacional de Trujillo.

Briones, G., & Milagros, V. (2018). *Mg. Ing. María Salomé De la Torre Ramirez*. 90.

Cardenas, C. (2000). *Tratamiento de Agua*.

Cárdenas, I. Y. A. (2000). *Documento preparado por: Ing. Yolanda Andía Cárdenas.* 44.

Carrasquero, S. J., Flores, S. M., Perche, E. D. F., Ferrer, P. M. P., Leal, J. C. M., & Montiel, A. R. D. (2017). Efectividad de Coagulantes Obtenidos de Residuos de Papa (Sonalum tuberosum) y Plátano (Musa paradisiaca) en la Clarificación de Aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, *13*(2), 90-99.

Castillo, Carlos. (2014). *Taxonomía de la tuna en el Perú*. https://willkamikhuna.lamula.pe/2014/07/31/taxonomia-de-la-tuna-en-el-peru/ccperalta/

Chicoma Aquino, I. M., & Vigo Lezma, L. E. (2018). Eficiencia de la Goma de Caesalpinia Spinosa de la Remoción de Sólidos Suspendidos, en las Aguas del Río Chonta, Los Baños del Inca-2018. *Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo*. http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/781

Chile, U. A. de. (1975). *Bosque*. Universidad Austral de Chile.

Chulluncuy, N. C. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. 19.

Contreras Lozano, P. K., Aguas Mendoza, Y., Salcedo Mendoza, J. G., Olivero Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. P. (2015). *El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua*. *10*(1), 46.

de Vargas, I. L. (2008). *Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades*. 69.

Díaz, F., Jairo, J., Bermúdez Roa, S., Tordecilla, E., & María, A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, *9*(1), 9-22.

DIGESA. (2016). *Parámetros del control de calidad del agua*. https://studylib.es/doc/712196/par%C3%A1metros-del-control-de-calidad-del-agua

Doménech, J. (2002). Control de la calidad del agua. *Offarm*, *21*(10), 138-146.

Félez Santafé, M. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*. https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6263

Flores Hernández, A., Acosta Rodriguez, G. F., Murillo Amador, B., Trejo Calzada, R., & Arreola Avila, J. G. (2006). Evaluación preliminar de la reserva de nopal

(*Opuntia spp*) en la región laguna- Chihuahua. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, *V*(2). http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=455545070012

Gazabón, M., Elena, L., Verbel, O., Enrique, R., Martínez, M., & Darío, I. (2013). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica*. http://repository.lasallista.edu.co/dspace//handle/10567/1005

Gomella, C., & Guerrée, H. (1977). *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Reverte.

Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F., & Gave, J. (2011). *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* (Primera edición).

González, T., Carmen. (2011). *La turbidez*.

Güeto, J. M. (2005). *Tecnología de los materiales cerámicos*. Ediciones Díaz de Santos.

Guevara, A. (2019). *Rendimiento floculante del mucílago de nopal (opuntia ficus-indica (l.) mill) y sulfato de aluminio en la clarificación del agua para consumo humano, Bagua, región amazonas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas.

Guevara Flores, A. S. (2019). Rendimiento floculante del mucílago de nopal (Opuntia ficus-indica (L.) Mill) y sulfato de aluminio en la clarificación del agua para consumo humano, Bagua, Región Amazonas, 2018. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM*. http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1751

Gutiérrez Pulido, H., & Salazar, R. (2012). Análisis y Diseño de Experimentos. En *SERBIULA (sistema Librum 2.0)*.

Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Primera Edición). McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C. V.

Jiménez, Q., & Gina, H. (2012a). Aplicación del mucílago extraído de nopal (opuntia ficus-índica) en la clarificación del agua del río Uchusuma. *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*. http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/529

Jiménez, Q., & Gina, H. (2012b). Aplicación del mucílago extraído de nopal (opuntia ficus-índica) en la clarificación del agua del río Uchusuma. *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*. http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/529

Julian Caballero, F. (2008). *Secado, absorción de agua y difusión de cloruros en concreto conteniendo extracto de nopal*. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/66

julio, muñoz. (2015). *Comportamiento de la actividad enzimática del suelo al aplicar mucílago de nopal (Opuntia spp.)*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000200161

Kittel, C. (1973). *Física térmica*. Reverte.

Lao, H., & Del Aguila, L. (2019). *Determinación de la eficiencia entre los métodos de Electrocoagulación y Coagulación Química para la remoción de la turbiedad del agua residual doméstica – Tarapoto, 2019*. Universidad César Vallejo.

Lopez. (2000). *(PDF) Uso de los cladodios del nopal en productos alimenticios*. https://www.researchgate.net/publication/258698346_Uso_de_los_cladodios_del_nopal_en_productos_alimenticios

López, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Lozano, C., Paola, K., Mendoza, J., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., Ortega, M., & Pablo, G. (2015). Nopal (Opuntia ficus-indica) as a complementary natural coagulant to clarify water. *Producción + Limpia*, *10*(1), 40-50.

Lozano Florián, L. L. (2018). *"Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018"*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

Lozano, L. (2018). *Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

Martínez, G., Jasser, & González, S., Luis Enrique. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas*. Universidad de Cartagena.

McBride, J. (1998). *El Color del Agua*. GeoPlaneta, Editorial, S. A.

Morejón Díaz, B. J. (2017). *Utilización del mucílago de tuna (Opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi.* Universidad Técnica del Norte.

Morejón Díaz, B. J. (2017b). *Utilización del mucílago de tuna (opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi*. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6621

Olivero, V., Rafael Enrique, Mercado, M., Iván Darío, & Montes, G., Luz Elena. (2013). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica*. *8*, 19-27.

OMS. (2005). *Agua*. WHO. http://www.who.int/topics/water/es/

ONU. (2015). *Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Áreas temáticas: Calidad del agua*. http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml

ONU-agua. (2017). *Aguas residuales El recurso desaprovechado* (pp. 8-10).

Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el Mucílago de Opuntia wentiana (Britton & Rose) / (Cactaceae). *REDIELUZ*, *1*(1). http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/redieluz/article/view/521

Pradillo, B. (2016, septiembre 12). *Parámetros de control del agua potable* [Text]. iAgua. https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable

Pulido, L. M. C. (2020). *Trabajo de Grado Presentado como Requisito Parcial Para Optar por el*. 74.

Quispe, H. G. (2012). *Aplicación del mucílago extraído de nopal (Opuntia ficus-indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverte.

Rivera, L. Q. (2019). *Valoración económica ambiental para el tratamiento de las aguas residuales en el río Ichu—Huancavelica*. Universidad ESAN.

Rodríguez-Gonzáleza, S., Martínez-Floresa, H. E., Órnelas-Nuñeza, J. L., & Garnica-Romob, M. G. (2014). *Optimización de la extracción del mucílago de nopal (Opuntia ficus-indica)*.

Sáenz, C., & Berger, H. (2006a). *Utilización agroindustrial del nopal*. Food & Agriculture Org.

Sáenz, C., & Berger, H. (2006b). *Utilización agroindustrial del nopal*. Food & Agriculture Org.

Silva, C., Megy Ninoska. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Tamayo, M. T. y. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.

Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., & Ballinas-Casarrubias, M. de L. (2015). *El nopal: Planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal* Nopal: Semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition*. 15.

Vaca Mier, M., López Callejas, R., Flores Rodríguez, J., Terres Peña, H., Lizardi Ramos, A., & Rojas Valencia, M. N. (2014). Aplicación del nopal (opuntia ficus indica) como coagulante primario de aguas residuales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, *7*(3), 210-216.

Vargas Rodríguez, L., Arroyo Figueroa, G., Herrera Méndez, C. H., Pérez Nieto, A., García Vieyra, M. I., & Rodríguez Núñez, J. R. (2016). Physical properties of

mucilage prickly pear. *Acta Universitaria, 26*(NE-1), 8-11. https://doi.org/10.15174/au.2016.839

Yactayo, I. V. M. (2004). *Capítulo 7 Sedimentación*. 61.

APÉNDICE

Apéndice N° 1: Matriz de consistencia

Título: Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del agua del rio Ichu – Huancavelica – 2019.

Planteamiento De Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cuál es la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica - 2019?	**Objetivo Principal** Evaluar la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) en la remoción de la turbidez del rio Ichu - Huancavelica – 2019. **Objetivo Específico** • Determinar la dosis óptima de coagulante natural de	**Hipótesis Principal** La aplicación del coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) manifiesta una eficiencia mayor al 60% en remoción de la turbidez del agua proveniente del rio Ichu. Huancavelica – 2019. **Hipótesis Especifico** • La dosis óptima de coagulante natural de mucilago de	**Variable Independiente** Dosis óptima de coagulante de nopal (*Opuntia ficus - indica*). **Variable Dependiente** Eficiencia de remoción de turbidez	**Enfoque de investigación** Enfoque cuantitativo **Tipo De Investigación** Investigación aplicativa **Nivel De Investigación** Investigación explicativa **Método De Investigación** Método explicativo **Diseño De Investigación** Diseño experimental - Diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) **Población** 150 L/s del caudal de captación de agua del río Ichu Punco Punco de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado EMAPA –

	mucílago de nopal para la remoción de turbidez del agua del rio Ichu. • Determinar la turbidez de las muestras de agua del rio Ichu después del tratamiento con mucílago de nopal. • Comparar la remoción de la turbidez del agua del rio Ichu, con el coagulante del mucilago de nopal y el sulfato de aluminio.	nopal es mayor a 30 ml/L. • La turbidez del agua del rio Ichu después del tratamiento con mucílago de nopal presenta una remoción mayor a 5 NTU • La comparación de la remoción de la turbidez del agua mediante el mucilago de nopal y el sulfato de aluminio es mayor a 99.5%		Huancavelica, marzo del año 2020, coordenadas UTM 858275 N 492096 E a una altitud de 3,967 m.s.n.m. **Muestra** Se recolectaron 60 litros de agua. **Técnica de muestreo** Técnica de muestreo no probabilístico con tipo de muestreo por conveniencia. **Técnica e instrumentos de recolección de datos** • **Técnicas:** Técnica observacional estructurada • **Instrumento:** Fichas de recolección de datos

Apéndice N° 2: Dimensionamiento de las pencas de nopal (*Opuntia ficus – indica*).

DIMENSIONAMIENTO DE LAS PENCAS DE TUNA (*Opuntia ficus - indica*) EMPLEADAS EN EL MES DE MARZO

Peso y Dimensiones de las Pencas de Tuna (*Opuntia ficus - indica*)

N°	Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Peso (gr)
1	18.0	34.0	2.0	809.0
2	19.5	33.5	2.2	836.0
3	19.0	35.0	2.0	825.0
Total				2470.0

Apéndice N° 3: Balance de materia prima.

BALANCE DE MATERIA PRIMA EMPLEADA EN LOS ENSAYOS N° 01 Y 02 CORRESPONDIENTE AL MES DE MARZO

N°	Proceso	Masa Inicial (gr)	Masa Final (gr)	Perdida (gr)	Perdida por Operación (%)	Pérdida Total (%)
1	Selección de la penca de tuna	2470.0	2470.0	0.0	0.0	0.0
2	Cepillado y lavado	2470.0	2435.0	35.0	1.42	1.42
3	Extracción de espinas y pelado	2435.0	1756.0	679.0	27.89	27.49
4	Troceado	1756.0	1701.0	55.0	3.13	2.23
5	Extracción y Filtración	1701.0	1701.0	0.0	0.0	0.0
	Total			769.0		31.14

Apéndice N°4: Ficha de recolección de datos en campo y laboratorio.

Apéndice 4.1: Ficha de recolección de datos para el Ensayo de prueba de jarras N° 01.

Ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras N° 01

Repetición N° 01

Hora: 06:45 a.m. **Fecha:** 15/03/2020

Lugar de toma de muestras: Captación de agua del río Ichu - Sector denominado Punco Punco

Laboratorio: Planta de Tratamiento de agua potable – PTAP Millpo

Coordenadas UTM: 8582575 N 492096 E **Altitud:** 3966 m.s.n.m.

Rango de dosificación: 10 ml/L – 60 ml/L

Agua cruda				Dosificación (ml/L)	Agua sedimentada					Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) 1566				Mezcla rápida Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm	Floculación Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm		Sedimentación Tiempo de Sedimentacion: 15 min.			Volumen de jarra: 1000 ml
Jarra N°	pH Inicial	Conductividad inicial	Temperatura Inicial (°C)	Coagulante a base demucílago de nopal (ml/L)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	pH Final	Conductividad final	Temperatura final (°C)	Índice de Willcomb
1	7.41	365	12.8	10	86.00	94.508	7.31	324	13.0	4
2	7.41	365	12.8	20	20.30	98.704	7.27	361	12.9	6
3	7.41	365	12.8	30	16.80	98.927	7.18	398	12.7	8
4	7.41	365	12.8	40	07.31	99.533	7.17	442	12.9	8
5	7.41	365	12.8	50	08.07	99.485	7.02	480	12.9	8
6	7.41	365	12.8	60	24.30	98.448	6.71	513	13.0	4

Otras indicaciones
Orden de aplicación de los productos
Mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*

Conclusiones

Dosis óptima 40 ml/L

Índice de willcomb
0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento
2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no
6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente
10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

UNIDAD DE PRODUCCION Y CONTROL EMAPA - HVCA S.A.

César Augusto Roca Vilchez
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP 113870

EPS EMAPA - HVCA. S.A.
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Julian Coridhahua Acuña
ASISTENTE DE AREA DE PRODUCCIÓN

Ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras N° 01

Repetición N° 02

Hora: 08:15 a.m. **Fecha:** 15/03/2020

Lugar de toma de muestras: Captación de agua del río Ichu – Sector denominado Punco Punco

Laboratorio: Planta de tratamiento de agua potable – PTAP Millpo

Coordenadas UTM: 8582575 N 492096 E **Altitud:** 3466 m.s.n.m.

Rango de dosificación: 10 ml/L – 60 ml/L

Agua cruda				Dosificación (ml/L)	Agua sedimentada					Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) 1561				Mezcla rápida Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm	Floculación Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm		Sedimentación Tiempo de Sedimentacion: 15 min.			Volumen de jarra: 1000 ml
Jarra N°	pH Inicial	Conductividad inicial	Temperatura Inicial (°C)	Coagulante a base demucílago de nopal (ml/L)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	pH Final	Conductividad final	Temperatura final (°C)	Índice de Willcomb
1	7.4	370	13.0	10	89.6	94.260	7.54	364	13.2	4
2	7.4	370	13.0	20	21.7	98.610	7.37	383	12.8	6
3	7.4	370	13.0	30	17.4	98.885	7.28	410	13.0	8
4	7.4	370	13.0	40	8.01	99.487	7.27	456	12.7	8
5	7.4	370	13.0	50	9.08	99.418	7.12	491	13.1	8
6	7.4	370	13.0	60	26.02	98.333	6.92	533	13.0	4

Otras indicaciones

Orden de aplicación de los productos

Mucílago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*

Conclusiones

Dosis óptima 40 ml/L

Índice de willcomb

0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento

2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado

4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no

6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud

8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente

10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

UNIDAD DE PRODUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD - HUCA HUACA

César Augusto Roca Vilchez
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP 113870

EPS EMAPA - HVCA. S.A.
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Julian Carichahua Acuña
ASISTENTE DE ÁREA DE PRODUCCIÓN

Ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras N° 01

Repetición N° 03

Hora: 09.40 a.m. **Fecha:** 15/03/2020

Lugar de toma de muestras: Captación de agua del río Ichu – Sector denominado Ponco Ponco

Laboratorio: Planta de Tratamiento de agua potable – PTAP Millpo

Coordenadas UTM: 8582575 N 492096 E **Altitud:** 3966 m.sn.m.

Rango de dosificación: 10 ml/L – 60 ml/L

Agua cruda	Dosificación (ml/L)	Agua sedimentada		Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) 1564	**Mezcla rápida** Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm	**Floculación** Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm	**Sedimentación** Tiempo de Sedimentacion: 15 min.	Volumen de jarra: 1000 ml

Jarra N°	pH Inicial	Conductividad inicial	Temperatura Inicial (°C)	Coagulante a base demucílago de nopal (ml/L)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	pH Final	Conductividad final	Temperatura final (°C)	Índice de Willcomb
1	7.42	368	13.5	10	85.02	94.564	7.29	316	12.70	4
2	7.42	368	13.5	20	20.50	98.689	7.28	359	12.70	6
3	7.42	368	13.5	30	14.07	99.100	7.16	382	13.40	8
4	7.42	368	13.5	40	7.62	99.513	7.07	429	13.30	8
5	7.42	368	13.5	50	10.24	99.345	6.94	458	13.40	8
6	7.42	368	13.5	60	22.50	98.561	6.51	483	13.20	4

Otras indicaciones

Orden de aplicación de los productos

Mucílago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*

Conclusiones

Dosis óptima 40 ml/L

Índice de willcomb

0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento

2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado

4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no

6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud

8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente

10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

UNIDAD DE PRODUCCIÓN Y CONTROL EMAPA - HVCA AYACUCHO

César Augusto Roca Vilchez
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP 113870

EPS EMAPA - HVCA, S.A.
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Julian Corichahua Acuña
ASISTENTE DE ÁREA DE PRODUCCIÓN

Apéndice 4.2: Ficha de recolección de datos para el Ensayo de prueba de jarras N° 02

Ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras N° 02

Repetición N° 01

Hora: 11:05 a.m. **Fecha:** 15/03/2020

Lugar de toma de muestras: Captación de agua del río Ichu – Sector denominado Punco Punco

Laboratorio: Planta de tratamiento de agua potable – PTAP Millpo

Coordenadas UTM: 8582575 N 492096 E **Altitud:** 3966 m.s.n.m.

Rango de dosificación: 05 ml/L – 40 ml/L

Agua cruda				Dosificación (ml/L)	Agua sedimentada					Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) 1562				Mezcla rápida Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm	Floculación Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm		Sedimentación Tiempo de Sedimentacion: 15 min.			Volumen de jarra: 1000 ml
Jarra N°	pH Inicial	Conductividad inicial	Temperatura Inicial (°C)	Coagulante a base demucílago de nopal (ml/L)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	pH Final	Conductividad final	Temperatura final (°C)	Índice de Willcomb
1	7.41	359	13.6	5	177.00	88.668	6.40	301	13.7	4
2	7.41	359	13.6	12	71.50	95.423	6.40	332	13.7	6
3	7.41	359	13.6	15	37.30	97.612	6.40	344	13.7	6
4	7.41	359	13.6	25	13.00	99.168	7.13	393	13.6	8
5	7.41	359	13.6	35	14.50	99.092	7.15	422	13.1	8
6	7.41	359	13.6	40	11.80	99.245	7.12	439	13.2	8

Otras indicaciones

Orden de aplicación de los productos

Mucílago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*

Conclusiones

Dosis óptima 40 ml/L

Índice de willcomb

0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento

2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado

4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no

6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud

8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente

10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

UNIDAD DE PRODUCCIÓN Y CONTROL EMAPA - HVCA S.A.

César Augusto Roca Vilchez
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP 113870

EPS EMAPA - HVCA S.A.
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Julian Corichahua Acuña
ASISTENTE DE ÁREA DE PRODUCCIÓN

Ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras N° 02

Repetición N° 02

Hora: 12:35 a.m. **Fecha:** 15/03/2020

Lugar de toma de muestras: Captación de agua del río Ichu – Sector denominado Punco Punco

Laboratorio: Planta de tratamiento de agua potable – PTAP Millpo

Coordenadas UTM: 8582575N 492096E **Altitud:** 3966 m.s.n.m.

Rango de dosificación: 05 ml/L – 40 ml/L

Agua cruda				Dosificación (ml/L)	Agua sedimentada					Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) 1568				Mezcla rápida Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm	Floculación Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm		Sedimentación Tiempo de Sedimentacion: 15 min.			Volumen de jarra: 1000 m
Jarra N°	pH Inicial	Conductividad inicial	Temperatura Inicial (°C)	Coagulante a base demucílago de nopal (ml/L)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	pH Final	Conductividad final	Temperatura final (°C)	Índice de Willcomb
1	7.44	362	13.7	5	173.60	88.924	6.80	285	13.7	4
2	7.44	362	13.7	12	70.00	95.536	6.60	317	13.9	6
3	7.44	362	13.7	15	35.30	97.749	6.50	330	13.9	6
4	7.44	362	13.7	25	13.80	99.120	7.12	376	13.8	8
5	7.44	362	13.7	35	12.90	99.177	7.13	401	13.8	8
6	7.44	362	13.7	40	10.50	99.330	7.10	420	13.8	8

Otras indicaciones

Orden de aplicación de los productos

Mucílago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*

Conclusiones

Dosis óptima 40 ml/L

Índice de willcomb

0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento

2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado

4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no

6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud

8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente

10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

UNIDAD DE PRODUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EMAPA - HVCA. S.A.

César Augusto Roca Vilchez
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP 113870

EPS EMAPA HVCA. S.A. EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Julian Coricahua Acuña
ASISTENTE DE ÁREA DE PRODUCCIÓN

Ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras Nº 02

Repetición Nº 03

Hora: 02 : 10 p.m. **Fecha:** 15/03/2020

Lugar de toma de muestras: Captación de agua potable del río Ichu – Sector denominado Punco Punco

Laboratorio: Planta de Tratamiento de agua potable – PTAP Millpo

Coordenadas UTM: 8582575 N 492096 E **Altitud:** 3966 m.s.n.m.

Rango de dosificación: 05 ml/L – 40 ml/L

Agua cruda	Dosificación (ml/L)	Agua sedimentada						Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) 1565	**Mezcla rápida** Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm	**Floculación** Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm			**Sedimentación** Tiempo de Sedimentacion: 15 min.			Volumen de jarra: 1000 ml
Jarra Nº	**pH Inicial**	**Conductividad inicial**	**Temperatura Inicial (°C)**	**Coagulante a base demucílago de nopal (ml/L)**	**Turbiedad final (NTU)**	**Eficiencia de remoción (%)**	**pH Final**	**Conductividad final**	**Temperatura final (°C)**	**Índice de Willcomb**
1	7.46	360	13.5	5	169.30	89.182	6.60	282	13.4	4
2	7.46	360	13.5	12	67.60	95.681	6.52	313	13.8	6
3	7.46	360	13.5	15	33.60	97.853	6.40	325	13.9	6
4	7.46	360	13.5	25	12.10	99.227	7.08	374	13.8	8
5	7.46	360	13.5	35	11.80	99.246	7.08	403	13.6	8
6	7.46	360	13.5	40	9.10	99.419	7.28	419	13.6	8

Otras indicaciones

Orden de aplicación de los productos

Mucílago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*

Conclusiones

Dosis óptima 40 ml/L

Índice de willcomb

0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento

2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado

4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no

6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud

8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente

10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

UNIDAD DE PRODUCCIÓN Y CONTROL EMAPA - HVCA S.A.

César Augusto Roca Vilchez
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP 113870

EPS EMAPA - HVCA. S.A. EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Julian Corichahua Acuña
ASISTENTE DE AREA DE PRODUCCIÓN

Apéndice 4.3: Ficha de recolección de datos para el Ensayo de comparación entre el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el coagulante a base de mucilago de nopal (*Opuntia ficus – indica)*

Ensayo de prueba de jarras para la comparación de dosis óptimas entre el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y el coagulante a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – indica*) para la remoción de turbiedad

Ensayo de Prueba de Jarras

Hora: 03: 40 p.m. Fecha: 15/03/2020

Lugar de toma de muestras: Captación de agua del río Ichu – Sector denominado Punco Punco

Laboratorio: Planta de Tratamiento de agua potable – PTAP Millpo

Coordenadas UTM: 8582575 N 492096 E Altitud: 3966 m.s.n.m.

Agua cruda						Dosificación (ml/L)		Agua sedimentada					Observaciones visuales
Turbiedad inicial (NTU) 1564, 1565 y 1566						Mezcla rápida Tiempo: 5 seg. Velocidad: 300 rpm		Floculación Tiempo floc: 20 min Velocidad: 40 rpm		Sedimentación Tiempo de Sedimentacion: 15 min.			Volumen de jarra 1000 ml
Jarra N°	Coagulante	Turbiedad inicial (NTU)	pH Inicial	Conductividad inicial	Temperatura Inicial (°C)	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	Coagulante a base demucílago de nopal (ml/L)	Turbiedad final (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	pH Final	Conductividad final	Temperatura final (°C)	Índice de Willcomb
1	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	1564	7.41	36.7	13.0	2		37.30	97.62	7.41	539	13.4	8
2		1565	7.42	36.3	12.9	2		4.62	99.70	7.42	549	12.8	8
3		1566	7.43	36.1	13.0	2		4.92	99.686	7.43	560	13.8	8
4	Mucílago de nopal	1564	7.41	36.7	13.0	40	40	10.98	99.30	7.41	673	13.5	8
5		1565	7.42	36.3	12.9	40	40	12.42	99.21	7.42	683	13.0	8
6		1566	7.43	36.1	13.8	40	40	16.40	98.953	7.43	696	13.7	8

Otras indicaciones
Orden de aplicación de los productos
Mucilago de nopal *(Opuntia ficus – indica)*
Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)

Conclusiones

- % de remoción de turbiedad de Mucílago de nopal (Opuntia ficus – indica) 99.70 %
- % de remoción de turbiedad de Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) 99.30 %

Índice de willcomb
0 - Floc coloidal: ningún tipo de aglutinamiento
2 - Floc visible: muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
4 - Disperso: flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o
6 - Claro: flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8 - Bueno: flóculo que se deposita fácil pero no completamente
10 . Excelente: flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

UNIDAD DE PRODUCCION Y CONTROL EMAPA - HVCA. S.A. CALIDAD

César Augusto Roca Vilchez
INGENIERO QUIMICO
Reg. CIP 113870

EPS EMAPA - HVCA. S.A. EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Julian Conchamma Acuña
ASISTENTE DE AREA DE PRODUCCIÓN

Apéndice N° 5: Calibración y/o verificación de equipos

1. Equipo de prueba de jarras Velp Scientifica

Se empleó el equipo de "prueba de jarras" de modelo Velp Scientifica, este equipo es muy útil para medir el contenido de sólidos en suspensión y coloides de forma indirecta, esta técnica es considerada de medición óptica, debido a que mide el traspaso de la luz a través de la muestra.

Figura 1

Verificación de paletas de agitación del equipo de prueba de jarras

2. Turbidímetro HACH 2100Q

El turbidímetro portátil Hach 2100Q tiene incorporado el modo de medición RST que permite obtener resultados más exactos y repetibles en muestras difíciles de rápida sedimentación. Posee un algoritmo que calcula la turbidez basándose en series de lectura automática elimina las mediciones redundantes y la estimación.

2.1. Especificaciones

- **Accesorios:**

  LZV804.99.00001 Módulo alimentación

  LZV813.99.00001 Módulo alimentación + USB

2971304 Pilas NiMH, AA, pk/4 4397500 Kit desgasificación
4397510 Kit filtración-desgasificación
2464105 Set de Gelex (Standard secundarios)

- **Certificaciones:** CE certified
- **Certificaciones de conformidad:** CE/RoHS/WEEE
- **Compatibilidad de cubetas:** 25 mm x 60 mm redonda (de vidrio de borosilicato, con tapa roscada)
- **Condiciones de almacenamiento:** -40 °C - 60 °C
- **Conexión a red:** 100 - 240 VAC, 50/60 Hz (con módulos opcionales de alimentación o USB + alimentación)
- **Dimensiones (A x A x P):**77 mm x 107 mm x 229 mm
- **Exactitud:** ± 2 % de la lectura más luz difusa
- **Fuente de alimentación:** Baterías (ver Pilas/baterías requeridas) o alimentación opcional
- **Fuente de luz:** Lámpara de Tungsteno
- **Humedad operativa máx.:**90 %
- **Luz difusa:**< 0,02 NTU
- **Método de medida:**Determinación turbidimétrica en RATIO, entre la señal de luz dispersa nefelométrica (90º) y la señal de luz dispersa transmitida.
- **Normativa:** Método EPA 180.1
- **Promedio de la señal:** Seleccionable on/off
- **Protección de la carcasa (IP):**IP67
- **Rango de medición:** 0 - 1000 NTU
- **Rango de temperatura de operación:** 0 - 50 °C
- **Registro de datos:** 500 registros
- **Repetibilidad:** ± 0.003 FNU ± 0,5% de la lectura (0 a 2 FNU)
- **Requisitos de alimentación (Hz):**50/60 Hz
- **Requisitos de alimentación (voltaje):**100 - 240 V CA
- **Tamaño de pantalla:** 240 x 160 pixels

- **Tiempo de respuesta:** 6 s en el modo normal de lectura
- **Volumen de muestra:** 15 m

2.2. Calibración

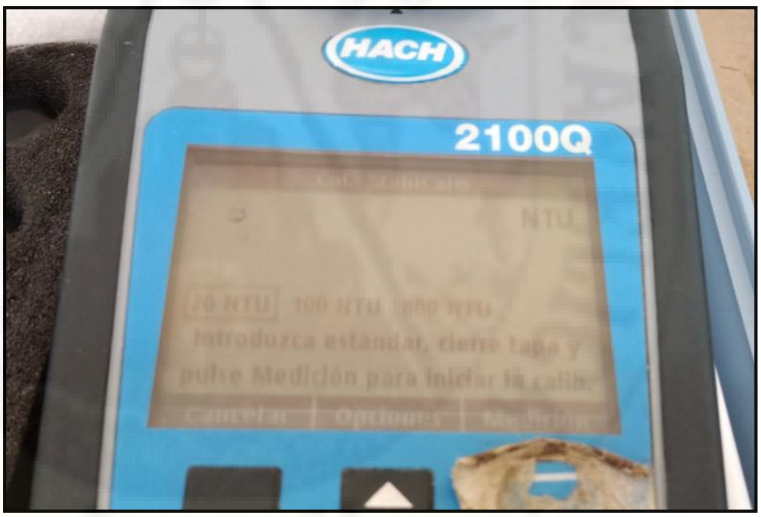
En el proceso de calibración del turbidímetro Hach 2100Q, se emplearon cubetas con soluciones estándar de 20 NTU, 100 NTU y 800 NTU; para la verificación de calibración se usó la cubeta con solución estándar de 10 NTU.

2.2.1 Calibración con la solución estándar de 20 NTU

a. Para comenzar, se pulsó el botón de calibrar, donde la pantalla mostró las opciones de calibrado con 20, 200 y 800 NTU.

Figura 2

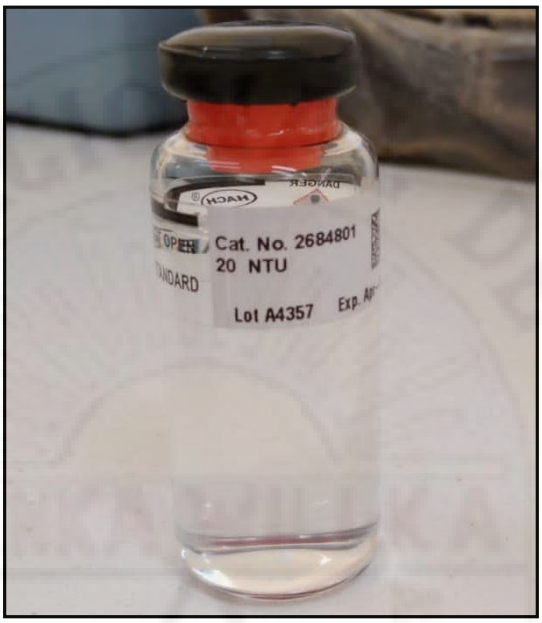
Selección de medidas estándar de 20, 100 y 800 NTU para iniciar la calibración



b. Se agitó de manera pasiva la cubeta de 20 NTU, con el objetivo de homogeneizar la solución.

Figura 3

Solución estándar de calibración de 20 NTU



c. A continuación, se introdujo la cubeta en el turbidímetro y se pulsó el botón de medición para leer los resultados.

Figura 4

Colocación de la cubeta en el turbidímetro HACH 2100Q

d. El resultado obtenido debía encontraste en el rango de medida entre (19 – 21 NTU) para la cubeta de 20 NTU.

e. Se obtuvo un resultado de 19.4 NTU, el cual se encontraba dentro del rango permitido.

Figura 5

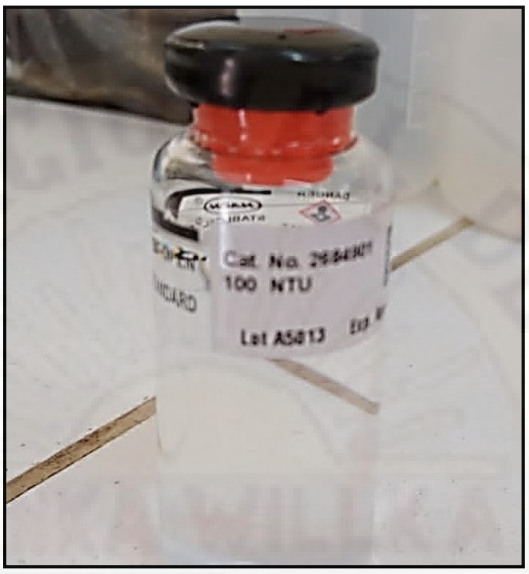
Calibración con la solución estándar de 20 NTU

2.2.2 Calibración con la solución estándar de 100 NTU

a. Del mismo modo, se agitó de manera pasiva la cubeta de 100 NTU con el objetivo de homogeneizar la solución.

Figura 6

Solución estándar de calibración de 100 NTU



b. A continuación, se introdujo la cubeta en el turbidímetro y se pulsó el botón de medición para leer los resultados.

c. El resultado obtenido debía encontraste en el rango de medida entre (99 – 101 NTU) para la cubeta de 100 NTU.

d. Se obtuvo un resultado de 99.5 NTU, el cual se encontraba dentro del rango permitido.

Figura 7

Calibración con la solución estándar de 100 NTU

2.2.3 Calibración con 800 NTU

a. También, se realizó la agitación pasiva de la cubeta de 800 NTU con el objetivo de homogeneizar la solución.

Figura 8

Solución estándar de calibración de 100 NTU

b. A continuación, se introdujo la cubeta en el turbidímetro y se pulsó el botón de medición para leer los resultados.

c. El resultado obtenido debía encontraste en el rango de medida entre (795 – 805 NTU) para la cubeta de 800 NTU.

d. Se obtuvo un resultado de 795 NTU, el cual se encontraba dentro del rango permitido.

Figura 9

Calibración con la solución estándar de 800 NTU

e. Se procedió a guardar la información y aceptar la calibración, obteniendo el resumen del calibrado.

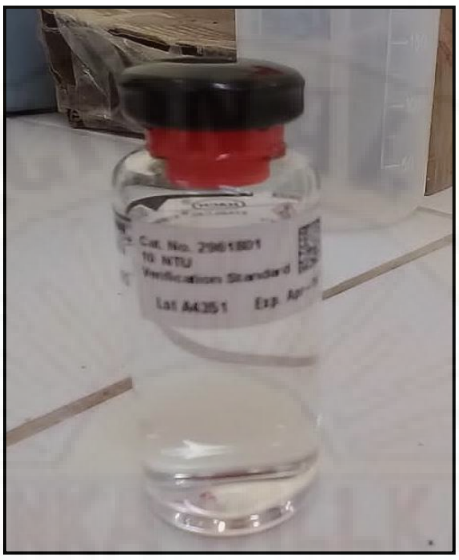
2.2.4 Verificación con 10 NTU

a. La verificación se realizó para probar que la calibración realizada sea correcta, para lo cual se empleó una cubeta de 10 NTU.

b. Del mismo modo, se realizó la agitación pasiva de la cubeta de 10 NTU con el objetivo de homogeneizar la solución.

Figura 10

Solución estándar de calibración de 10 NTU



c. A continuación, se introdujo la cubeta en el turbidímetro para leer los resultados.

d. El resultado obtenido debía encontraste en el rango de medida entre (9 – 11 NTU) para la cubeta de 10 NTU.

e. Se obtuvo un resultado de 10.4 NTU, el cual se encontraba dentro del rango permitido, probando de ese modo que el equipo ya se encontraba correctamente calibrado.

Figura 11

Verificación de la calibración con la solución estándar de 10 NTU

3. Multiparámetros HACH HQ 40D

Este equipo fue diseñado para aplicaciones de calidad del agua en las que se mide pH, conductividad, TDS, salinidad, oxígeno disuelto (OD), ORP e ISE, el multímetro portátil HQ40D de Hach es un medidor digital de mano avanzado de dos canales que elimina las conjeturas en las mediciones. El multímetro digital HQD de Hach combina fiabilidad con flexibilidad y facilidad de uso. Los medidores portátiles HQD se conectan con una gran variedad de electrodos inteligentes Intellical que manejan diferentes parámetros, tipos de muestras y entornos de trabajo relacionados con la calidad del agua, el medio ambiente y el proceso de tratamiento. La sonda Intellical reconoce automáticamente el parámetro de los tests, almacena el historial de calibración y los ajustes del método para así minimizar los errores y reducir el tiempo de configuración.

3.1. Especificaciones

- **Adaptador de corriente alterna y adaptador USB / CC:**Incluido
- **Almacenamiento de datos:**500 registros
- **Calibración de electrodo ISE:** Específico del electrodo

- **Calibración del electrodo de conductividad:** Demal (1D/ 0.1D/ 0.01D); Molar (0.1M/ 0.01M/0.001M); NaCl (0.05%; 25µS/cm; 1000µS/cm; 18mS/cm); Standard sea water; User defined
- **Calibración electrodo de pH:**1 - 3 Calibration points Calibration summary data logged and
- **Capacidad de almacenamiento de resultados interna:**500
- **Condiciones ambientales: humedad relativa:** 90 % de humedad relativa (sin condensación), temperatura**:**0 - 60 °C
- **Entradas:**2
- **Exactitud de la conductividad:**± 0,5 % a partir de 1 µS/cm - 200 mS/cm
- **Exactitud de pH:**± 0,002 pH
- **Medición de la conductividad:**De 0,01 µS/cm a 200,0 mS/cm
- **Medición de la temperatura:**°C or °F
- **Reconocimiento automático del Buffer:** Codificación por colores: pH 4,01, 7,00 y 10,01;
- **Sets de buffers de pH:** Estándares de la IUPAC (DIN 19266) o solución tampón técnica (DIN 19267), o bien series 4-7-10.
- **Tipo de pantalla:** LCD de 240 x 160 píxeles con retroiluminación

3.2. Calibración

3.2.1. Calibración de conductividad

a. Para comenzar, se limpió la sonda de conductividad empleando una piseta con agua destilada.

Figura 12

Limpieza de sonda de conductividad previa a la calibración

b. Seguidamente, se vertió 50 ml de la solución estándar de cloruro de sodio $491 \pm 2.5\ mg/L\ como\ NaCl\ 1000\ \pm 10\ \mu S/cm$, en la cubeta de calibración.

Figura 13

Solución estándar de cloruro de sodio 491±2.5 mg/L como NaCl 1000 ±10 µS/cm

c. Después de introducir la sonda en la cubeta, se esperó un tiempo aproximado de un minuto hasta que el equipo reconoció la sonda.

Figura 14

Reconocimiento de sonda de conductividad en solución estándar de NaCl 491±2.5 mg/L durante un minuto

d. El rango de calibración para conductividad debía encontrarse entre 500 a 1000 $\mu s/cm$.
e. Se obtuvo un resultado de 793 $\mu s/cm$, el cual indicó que la calibración fue correcta.

Figura 15

Resultado de 793 µs/cm indicando una correcta calibración

f. Para finalizar, se realizó la limpieza del electrodo con agua destilada y con la solución de limpieza de electrodos para después secarlo de manera cuidadosa.

Figura 16

Limpieza de electrodo de conductividad

3.3. Calibración de pH

En el proceso de calibración de la sonda de pH, se emplearon las soluciones tampón pH 4.01 ± 0.02 (color codificado rojo), $7.00\ a\ 0.02$ (color codificado amarillo) y 10.01 ± 0.02 (color codificado azul).

Figura 17

Soluciones de tampón pH de 4.01, 7.00 y 10.01

3.3.1. Calibración con solución tampón pH 4.01 ± 0.02 (color codificado rojo)

a. Para comenzar, se realizó la limpieza de la sonda de pH y de la cubeta empleando una piseta con agua destilada.
b. Se rotuló la cubeta de 4 y se vertió la solución tampón pH en la cubeta.

Figura 18

Vertido de la solución tampón pH 4.01

c. A continuación, se introdujo la sonda en la cubeta y se dejó un tiempo aproximado de un minuto para que el equipo reconozca la sonda.

Figura 19

Reconocimiento de sonda en solución tampón pH 4.01 durante un minuto

d. Transcurrido el minuto se procedió con la lectura, obteniendo 4.00 pH, el cual se encontró dentro el rango permitido indicando que la calibración fue correcta.

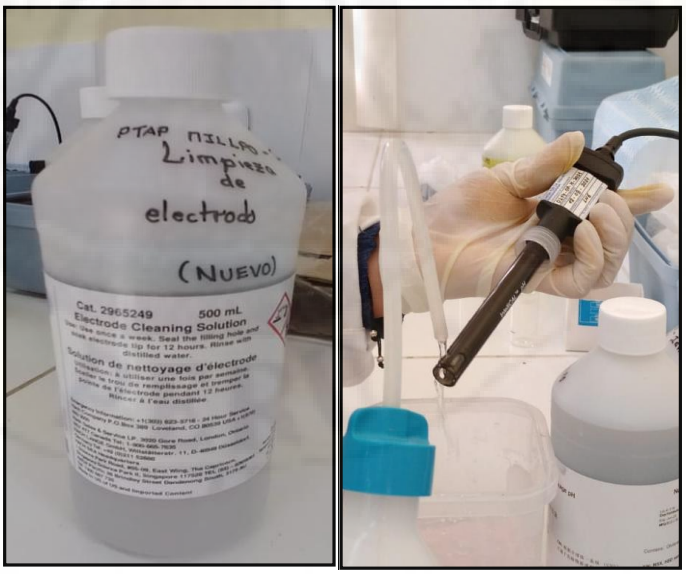
Figura 20

Calibración con solución tampón pH 4.01±0.02 (color codificado rojo)

e. Para finalizar, se realizó la limpieza del electrodo con la solución de limpieza de electrodos y la cubeta con agua destilada para después secarlos de manera cuidadosa.

Figura 21

Limpieza de electrodo de conductividad



3.3.2. Calibración con solución tampón pH 7.00 a 0.02 (color codificado amarillo)

a. Para comenzar, se realizó la limpieza de la sonda de pH y de la cubeta empleando una piseta con agua destilada.
b. Se rotuló la cubeta de 7 y se vertió la solución tampón pH en la cubeta.
c. A continuación, se introdujo la sonda en la cubeta y se dejó un tiempo aproximado de un minuto para que el equipo reconozca la sonda.

Figura 22

Reconocimiento de la sonda en la solución tampón pH 7.00

d. Transcurrido el minuto se procedió con la lectura, obteniendo 7.04 pH, el cual se encontró dentro el rango permitido indicando que la calibración fue correcta.

Figura 23

Calibración con solución tampón pH 7.00 a 0.02 (color codificado amarillo)

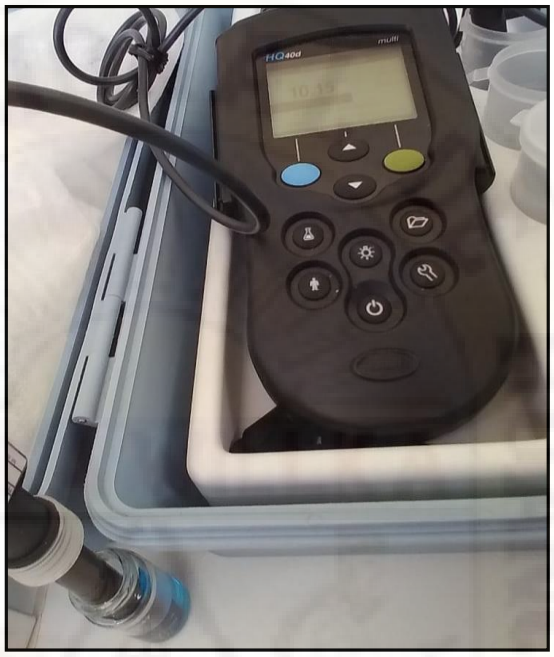
e. Para finalizar, se realizó la limpieza del electrodo con la solución de limpieza de electrodos y la cubeta con agua destilada para después secarlos de manera cuidadosa.

3.3.3. Calibración con solución tampón pH 10.01 ± 0.02 (color codificado azul)

a. Para comenzar, se realizó la limpieza de la sonda de pH y de la cubeta empleando una piseta con agua destilada.
b. Se rotuló la cubeta de 10 y se vertió la solución tampón pH en la cubeta
c. A continuación, se introdujo la sonda en la cubeta y se dejó un tiempo aproximado de un minuto para que el equipo reconozca la sonda.
d. Transcurrido el minuto se procedió con la lectura, obteniendo 10.15 pH, el cual se encontró dentro el rango permitido indicando que la calibración fue correcta.

Figura 24

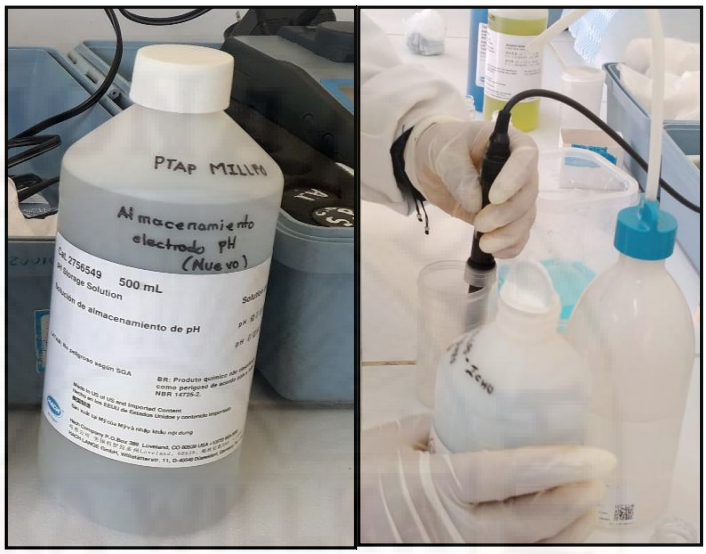
Calibración con solución tampón pH 10.01±0.02 (color codificado azul)



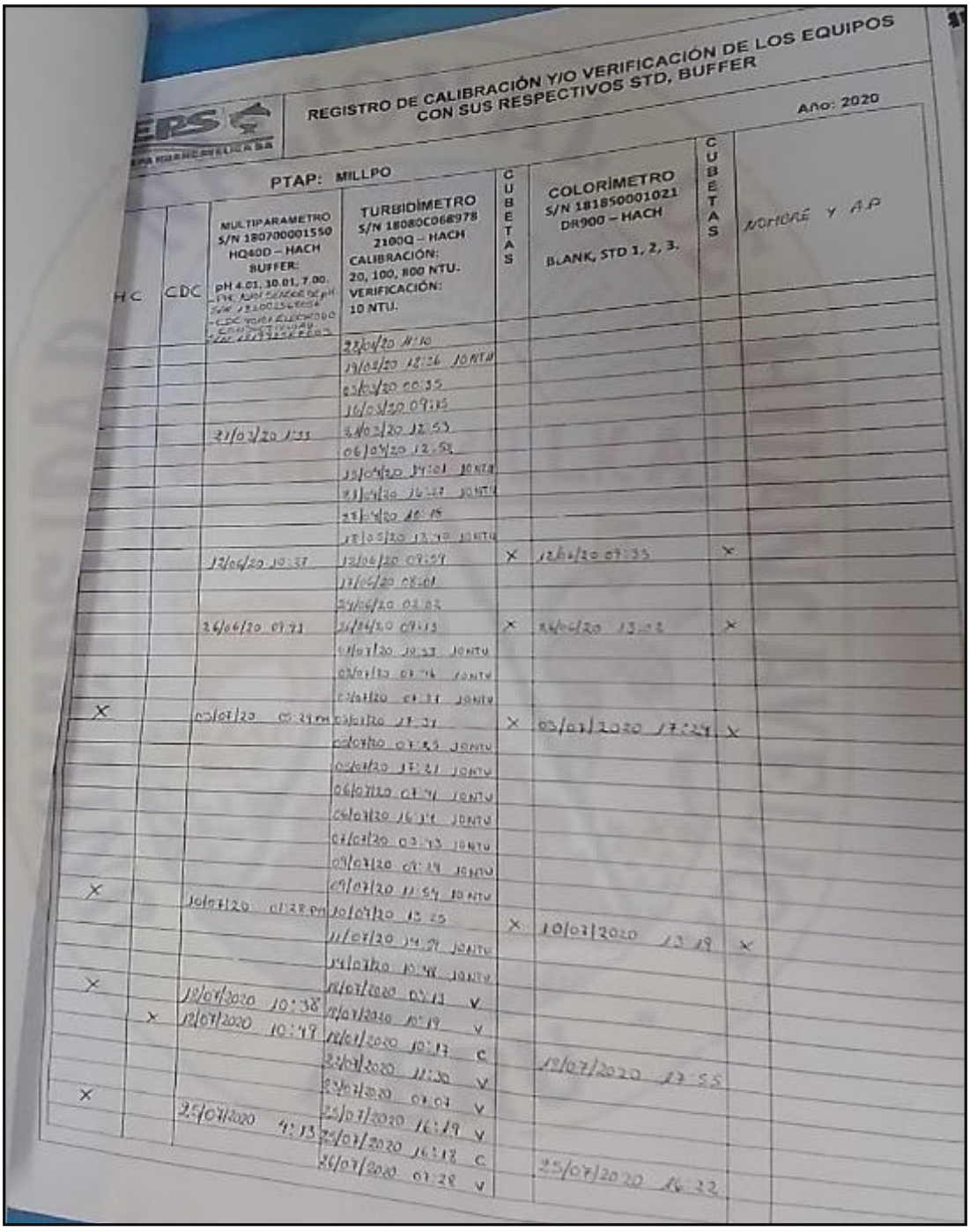
e. Para finalizar, se realizó la limpieza del electrodo con agua destilada y solución de limpieza de electrodos, para guardar el electrodo en solución de almacenamiento de pH para evitar que se reseque.

Figura 25

Almacenamiento de electrodo pH



4. **Registro de calibración y/o verificación de los equipos en el mes de marzo del año 2020**



REGISTRO DE CALIBRACIÓN Y/O VERIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS CON SUS RESPECTIVOS STD, BUFFER

EPS

Año: 2020

PTAP: MILLPO

HC	CDC	MULTIPARAMETRO S/N 180700001550 HQ40D – HACH BUFFER: pH 4.01, 10.01, 7.00.	TURBIDÍMETRO S/N 18080C068978 2100Q – HACH CALIBRACIÓN: 20, 100, 800 NTU. VERIFICACIÓN: 10 NTU.	CUBETAS	COLORÍMETRO S/N 181850001021 DR900 – HACH BLANK, STD 1, 2, 3.	CUBETAS	NOMBRE Y AP
			23/04/20 11:10				
			13/03/20 12:26 10NTU				
			25/03/20 00:35				
			16/03/20 09:25				
		21/03/20 1:11	3/03/20 12:53				
			06/04/20 12:58				
			15/04/20 14:01 10NTU				
			23/04/20 16:17 10NTU				
			23/04/20 16:18				
			28/05/20 12:10 10NTU				
		12/04/20 10:37	12/04/20 09:59	X	12/04/20 09:35	X	
			13/05/20 08:01				
			24/05/20 02:02				
		24/04/20 09:21	24/04/20 09:15	X	24/04/20 13:03	X	
			01/07/20 10:33 10NTU				
			03/07/20 01:14 10NTU				
			03/07/20 01:33 10NTU				
X		03/07/20 01:21pm	03/07/20 11:21	X	03/07/2020 17:24	X	
			04/07/20 01:43 10NTU				
			05/07/20 17:21 10NTU				
			06/07/20 01:41 10NTU				
			06/07/20 16:34 10NTU				
			07/07/20 03:13 10NTU				
			09/07/20 01:29 10NTU				
X			09/07/20 11:54 10 NTU				
		10/07/20 01:28pm	10/07/20 13:25	X	10/07/2020 13:19	X	
			11/07/20 14:51 10NTU				
			11/07/20 16:38 10NTU				
X			12/07/2020 03:13 V				
		12/07/2020 10:38	12/07/2020 10:19 V				
	X	12/07/2020 10:49	12/07/2020 10:17 C				
			24/07/2020 11:30 V		12/07/2020 17:55		
X			24/07/2020 01:04 V				
			25/07/2020 16:19 V				
		25/07/2020 4:13	25/07/2020 16:18 C				
			26/07/2020 01:28 V		25/07/2020 16:32		

Apéndice 6: Panel Fotográfico

Apéndice 6.1. Ubicación del punto de muestreo

Figura 1

Ubicación del punto de muestreo en la captación de agua del río Ichu - Punco Punco en las coordenadas UTM 858275 N 492096 E y altitud 3,967 m.s.n.m.

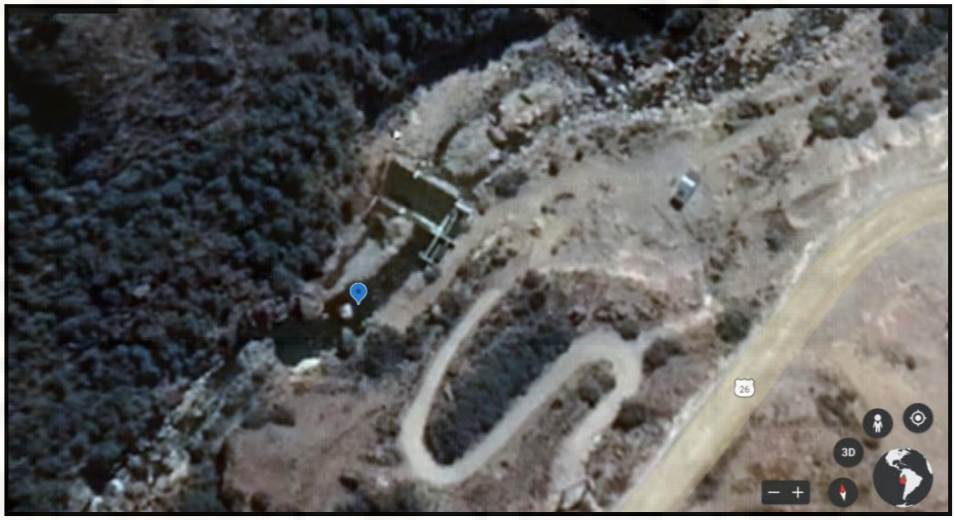


Figura 2

Ubicación del punto de muestreo en las coordenadas UTM 858275 N 492096 E *yaltitud 3,967 m.s.n.m.*

Figura 3

Recolección de muestras de agua en la captación de agua del río Ichu Punco Punco

Apéndice 6.2. Fotos del punto de recolección de materia prima

Figura 4

Recolección de pencas de tuna en el distrito de Izcuchaca, coordenadas UTM - UTM 8618330.6 N - 499886.8 E.

Figura 5

Selección de pencas de tuna

Apéndice 6.3. Fotos de la caracterización de materia prima

Figura 6

Determinación del porcentaje de humedad de las muestras de penca de tuna

Figura 7

Muestras de penca de tuna deshidratadas

Figura 8

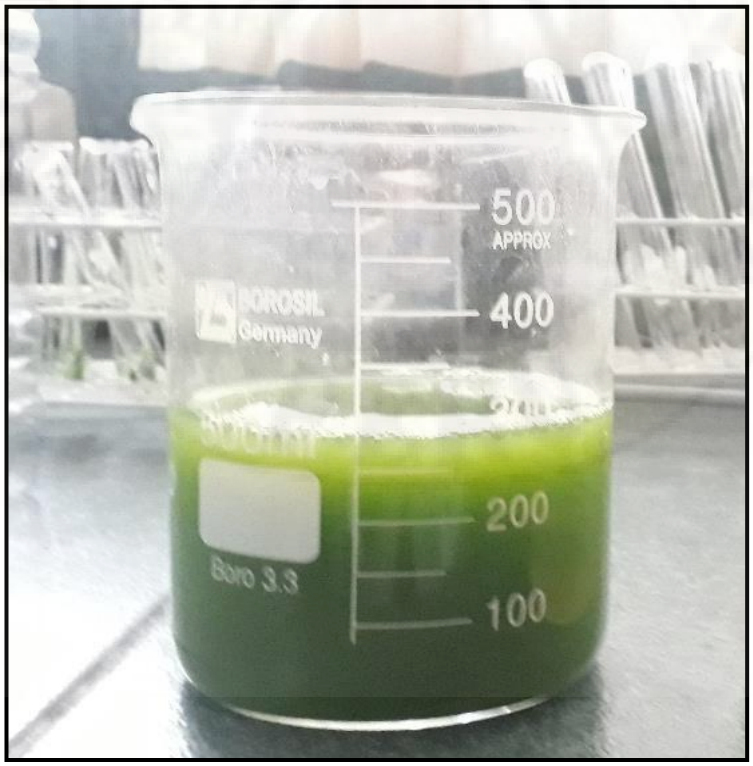
Determinación del porcentaje de cenizas de las muestras de penca de tuna

Figura 9

Cenizas de las muestras de penca de tuna

Figura 10

Determinación de pH de la solución tamizada de penca de tuna



Apéndice 6.4. Fotos del proceso de obtención del coagulante fresco a base de mucilago de nopal

Figura 11

Selección de pencas de tuna más óptimas

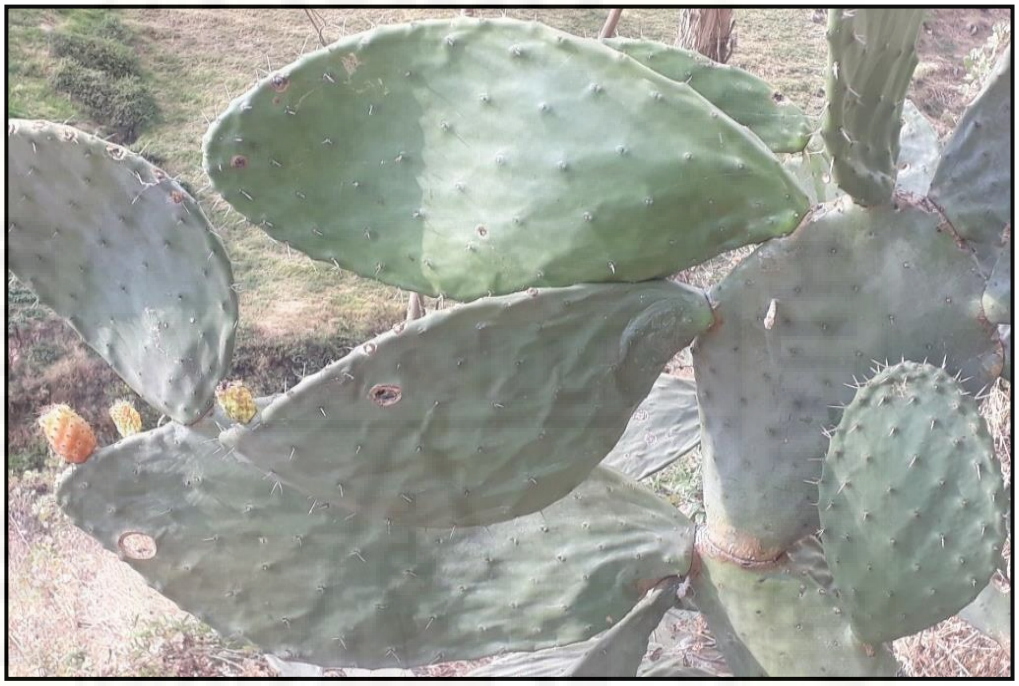


Figura 12

Pesado de las pencas seleccionadas

Figura 13

Medición del ancho, largo y espesor de las pencas de tuna seleccionadas

Figura 14

Lavado y cepillado de las pencas de tuna

Figura 15

Extracción de espinas de las pencas de tuna

Figura 16

Pelado de las pencas de tuna limpias

Figura 17

Pesado de las pencas de tuna peladas

Figura 18

Pesado de restos de cáscaras y espinas

Figura 19

Troceado de las pecas de tuna peladas

Figura 20

Penca de tuna troceada aproximadamente de 1 m3

Figura 21

Preparación de la solución en relación 1:2 Penca/Agua

Figura 22

Extracción del mucílago de nopal, relación 1:2 Penca/Agua

Figura 23

Sedimentación de restos de fibra durante 20 minutos

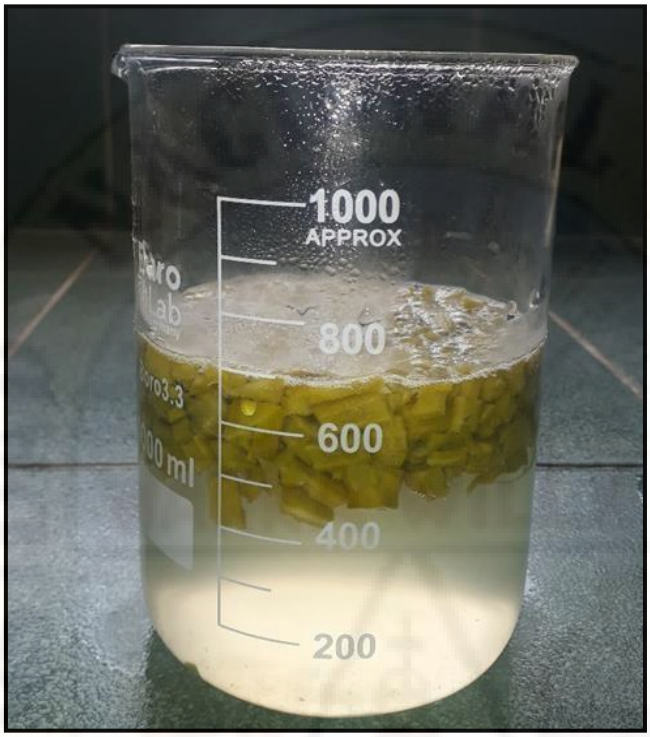


Figura 24

Restos de fibra sedimentadas

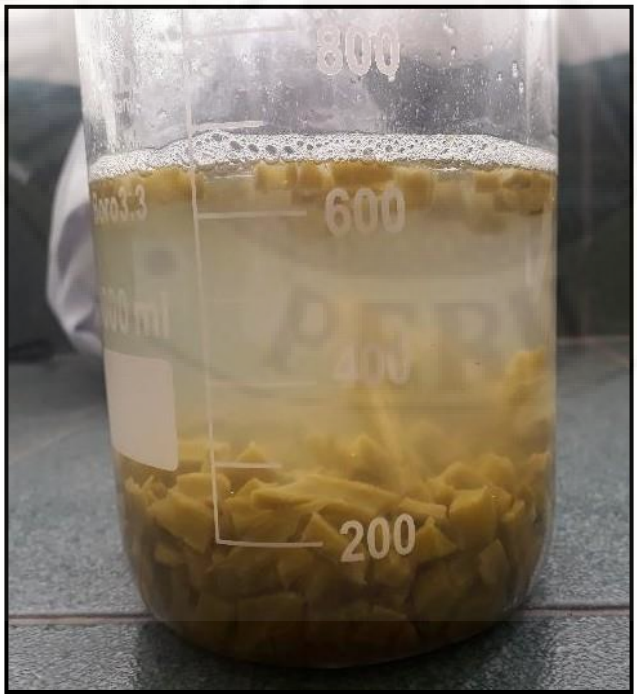


Figura 25

Filtración del mucilago de nopal de los restos de fibra

Figura 26

Coagulante fresco obtenido a base de mucilago de nopal

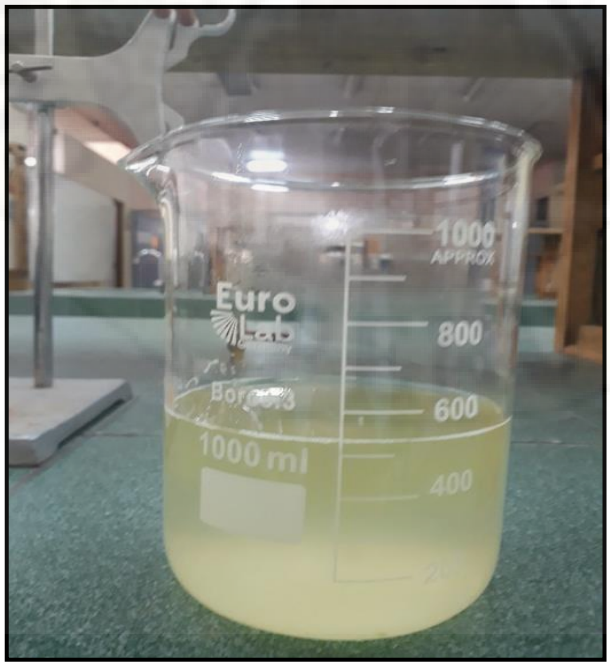


Figura 27

Medición de pH del coagulante fresco a base de mucilago de nopal

Figura 28

Prueba de solubilidad en agua para coagulante a base de mucilago de nopal

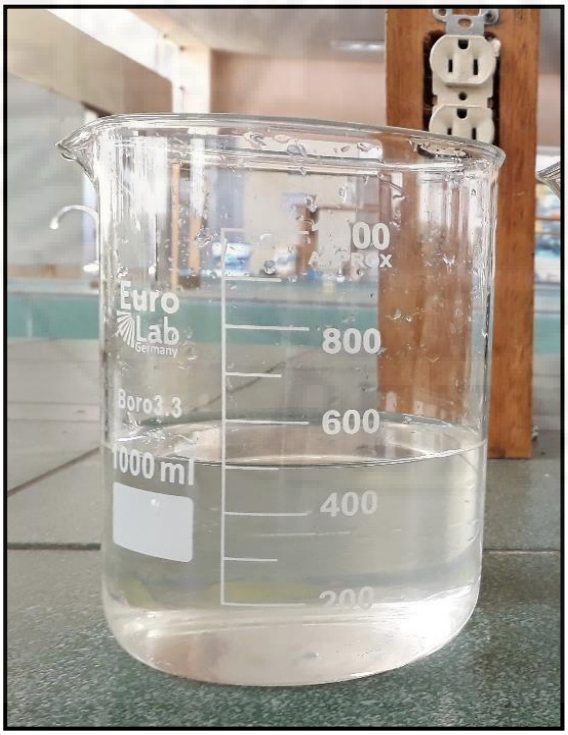


Figura 29

Prueba de solubilidad en etanol 96° para coagulante a base de mucilago de nopal

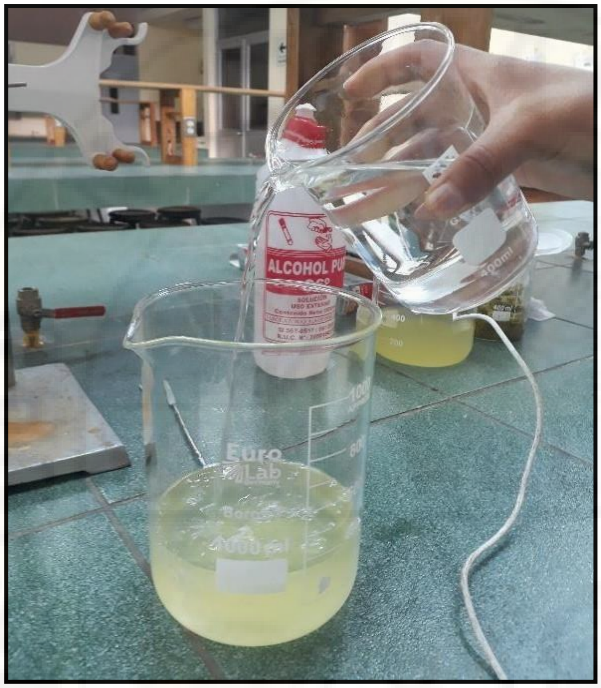
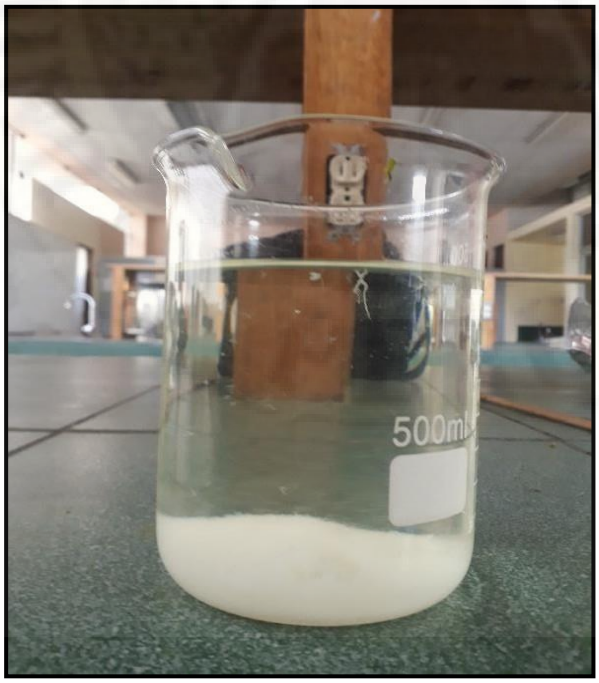


Figura 30

Coagulante a base de mucilago de nopal insoluble en etanol 96°



Apéndice 6.5. Procedimiento de ejecución del Ensayo de pruebas de jarras N° 01

Figura 31

Diluciones para muestras de alta turbiedad con rango de Turbidímetro hasta 1000NTU

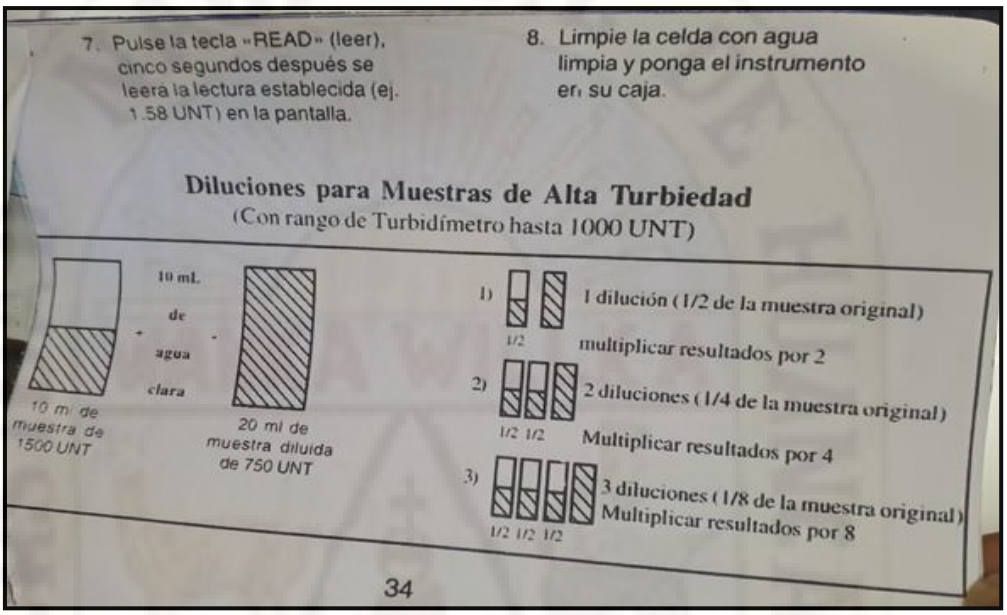


Figura 32

Homogenización de las muestras de agua

Figura 33

Dilución de la turbiedad cruda de muestra de agua >1000 NTU

Figura 34

Medición de turbiedad diluida con el Turbidímetro Hach 21000

Figura 35

Aforamiento de 1 L de muestras de agua con rango de turbiedad - Ensayo N° 01

Figura 36

Vertido de muestras de agua de río Ichu en las jarras - Ensayo N° 01

Figura 37

Verificación de las paletas de agitación

Figura 38

Preparación de jarras para el Ensayo N° 01

Figura 39

Dosificación de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml del coagulante de mucilago de nopal -

Ensayo N° 01

Figura 40

Aplicación de las dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml de coagulante natural

Figura 41

Agitación rápida a 300 rpm durante 5 segundos - Ensayo N° 01

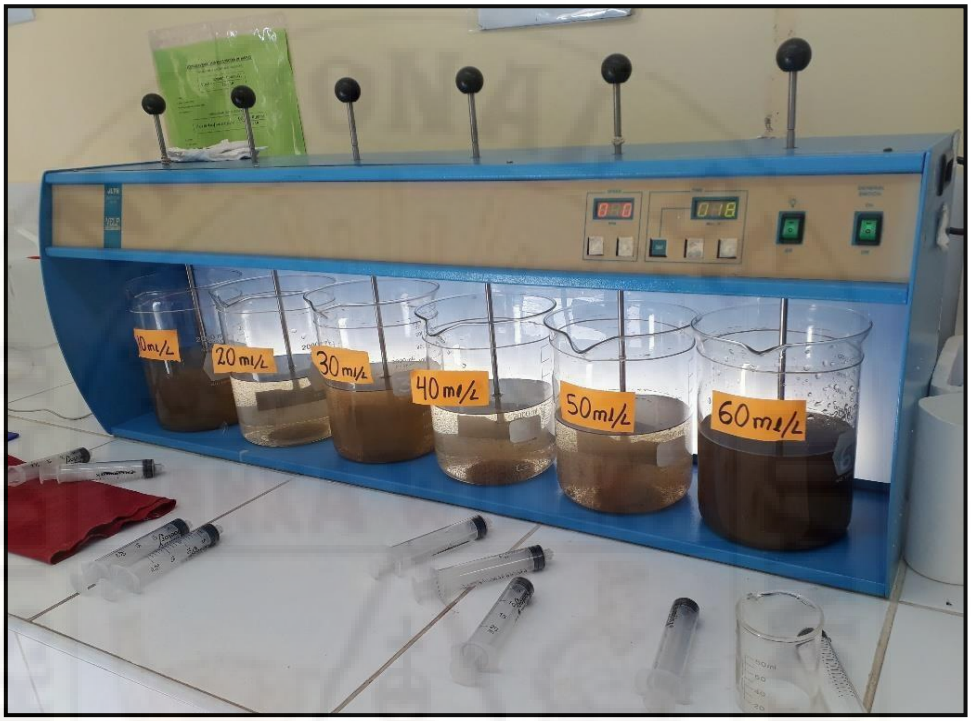


Figura 42

Formación de flóculos a una agitación lenta de 40 rpm durante 20 minutos

Figura 43

Sedimentación de flóculos durante 15 minutos – Ensayo N° 01

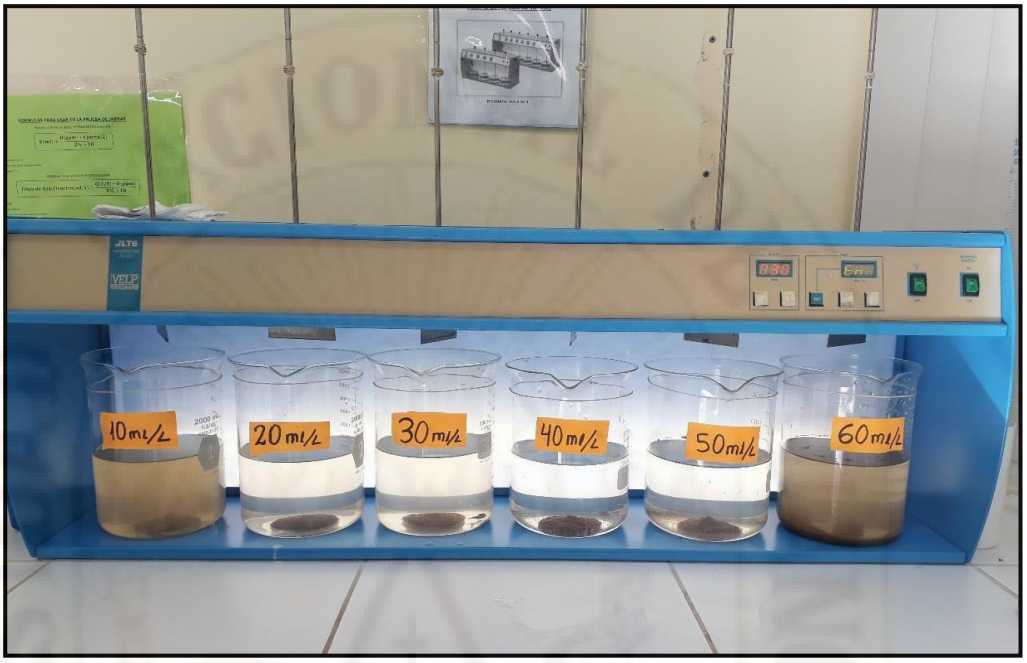


Figura 44

Recolección de muestras de agua tratada a través del sifón de vidrio - Ensayo N° 01

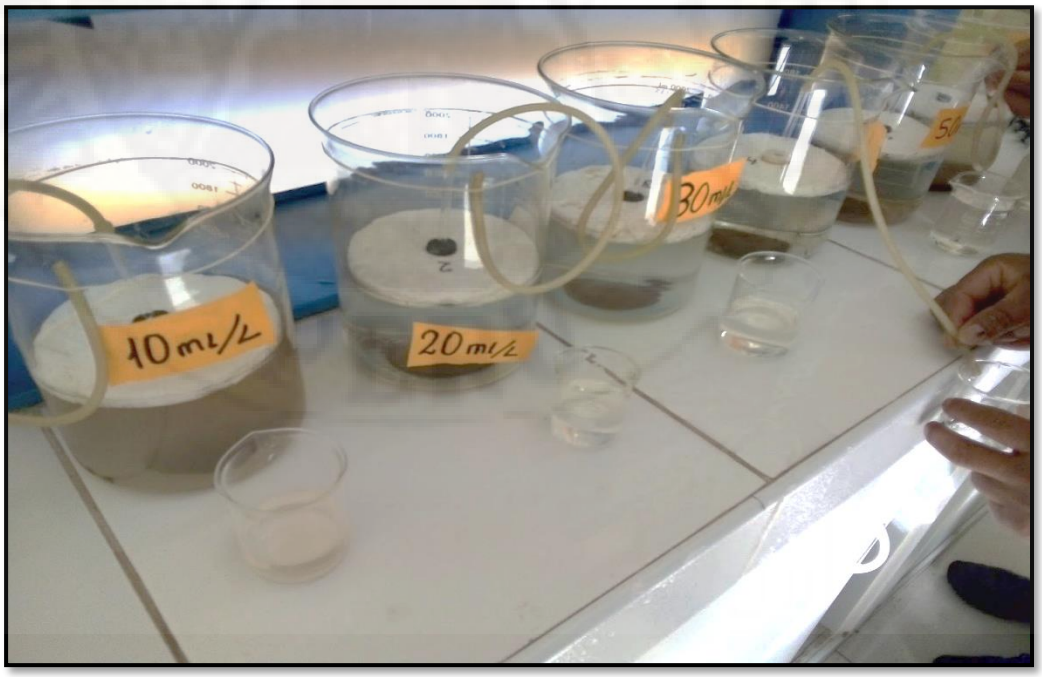


Figura 45

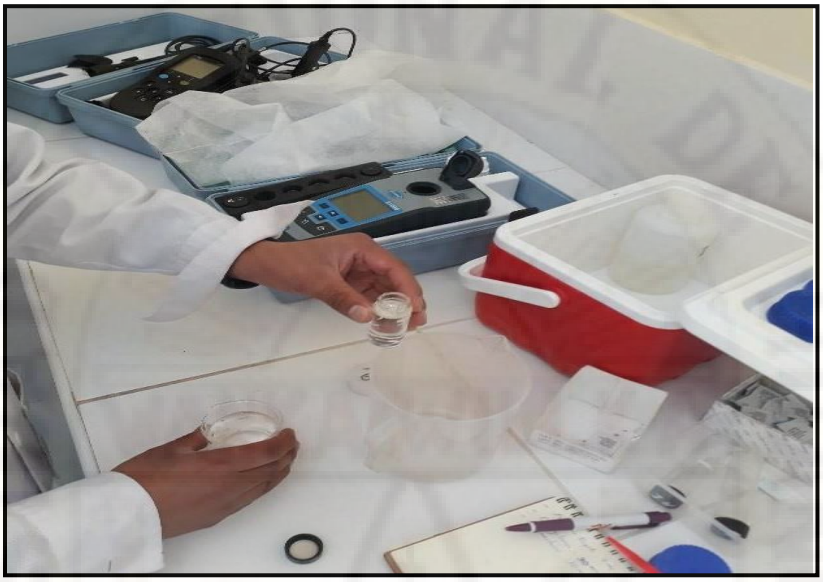
Muestras de agua tratada para la determinación de parámetros de estudio - EnsayoN° 01

Figura 46

Colocación de las muestras en el turbídimetro Hach 2100 y multiparámetros HQ40d – Ensayo N° 01

Figura 47

Análisis de parámetros con el turbídimetro Hach 2100 y multiparámetros HQ 40d –Ensayo N° 01



Apéndice 6.6. Procedimiento de ejecución del Ensayo de pruebas de jarras N° 02

Figura 48

Aforamiento de 1 L de muestras de agua con rango de turbiedad entre 1561 a 1568NTU, ensayo N° 02

Figura 49

Preparación de jarras para el Ensayo N° 02

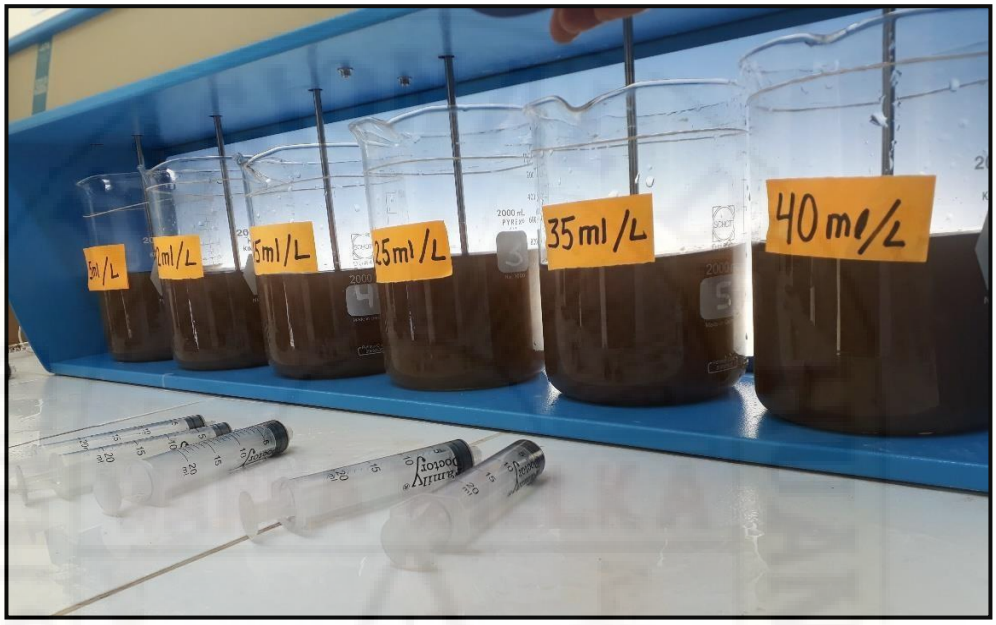


Figura 50

Agitación rápida a 300 rpm durante 5 segundos - Ensayo N° 02

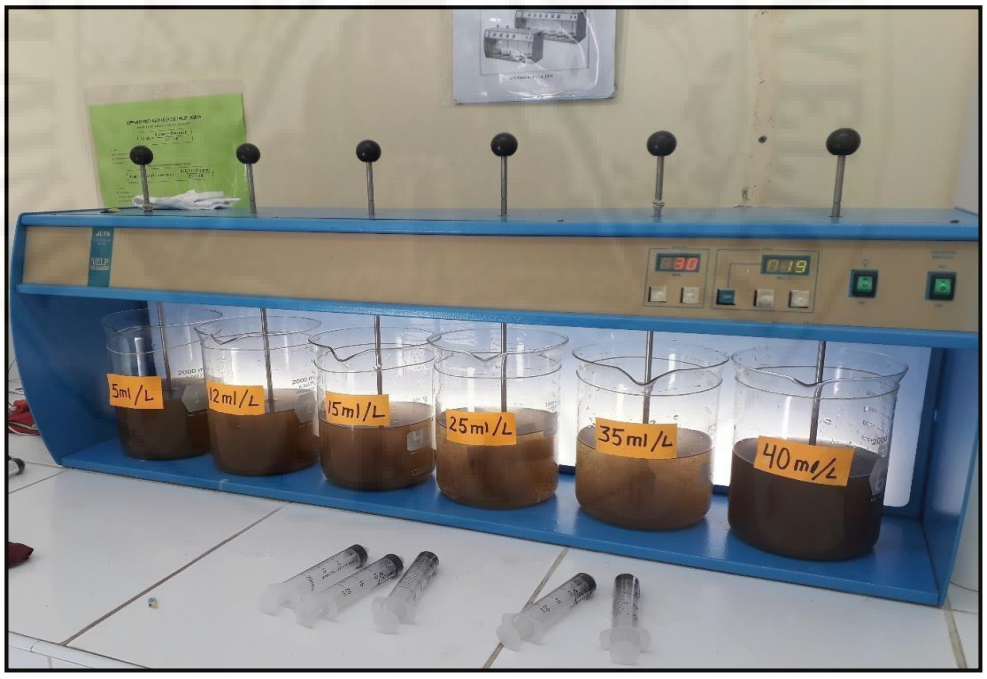


Figura 51

Sedimentación de flóculos durante 15 minutos - Ensayo N° 02

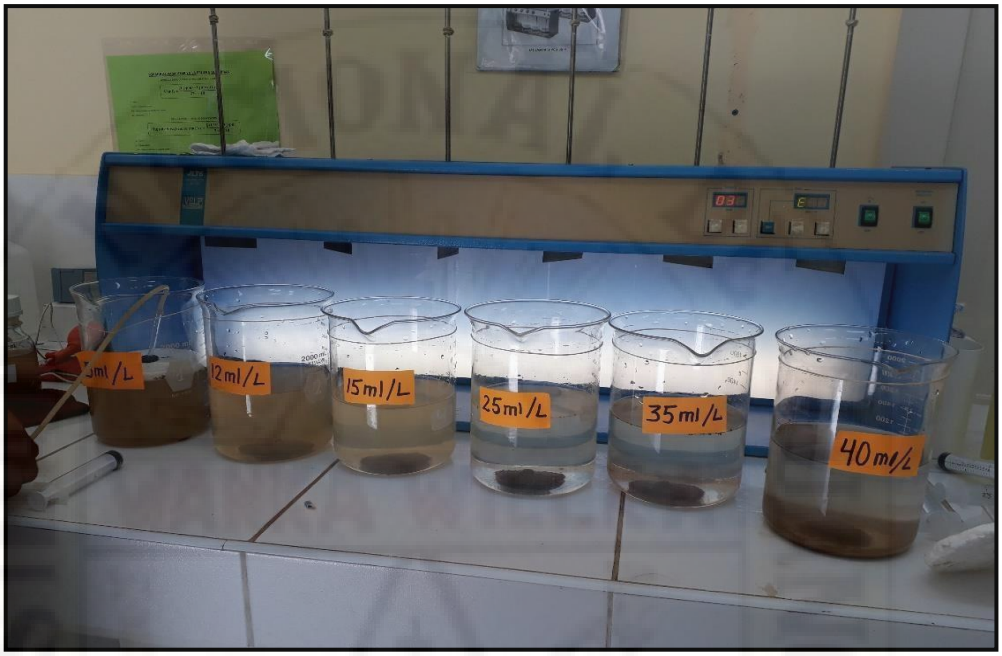


Figura 52

Recolección de muestras de agua tratada a través del sifón de vidrio - Ensayo N° 02

Figura 53

Muestras de agua tratada para la determinación de parámetros de estudio - EnsayoN° 02

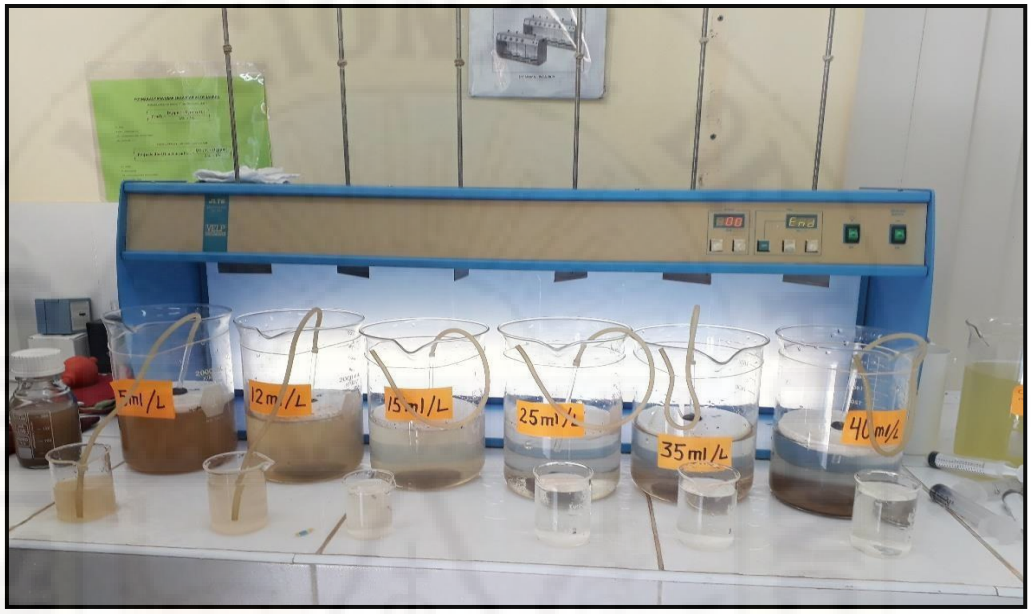


Figura 54

Análisis de parámetros con el turbídimetro Hach 2100 y multiparámetros HQ 40d, -Ensayo N° 02

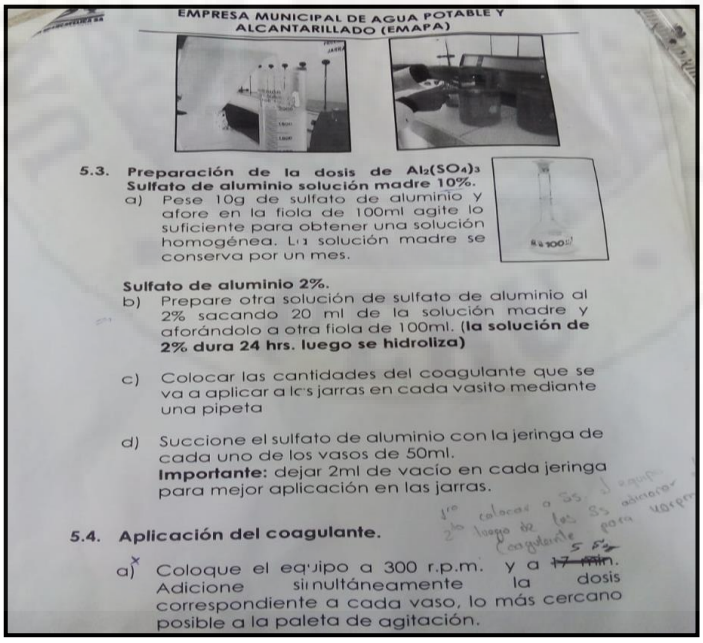
Apéndice 6.7. Procedimiento de ejecución del Ensayo de comparación de la eficiencia delcoagulante de mucílago de nopal y el sulfato de aluminio

Figura 55

Coagulante de mucílago de nopal y Sulfato de Aluminio

Figura 56

Consideraciones para la preparación de la dosis de Al2 (SO4)3



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO (EMAPA)

5.3. Preparación de la dosis de $Al_2(SO_4)_3$

Sulfato de aluminio solución madre 10%.

a) Pese 10g de sulfato de aluminio y afore en la fiola de 100ml agite lo suficiente para obtener una solución homogénea. La solución madre se conserva por un mes.

Sulfato de aluminio 2%.

b) Prepare otra solución de sulfato de aluminio al 2% sacando 20 ml de la solución madre y aforándolo a otra fiola de 100ml. **(la solución de 2% dura 24 hrs. luego se hidroliza)**

c) Colocar las cantidades del coagulante que se va a aplicar a las jarras en cada vasito mediante una pipeta

d) Succione el sulfato de aluminio con la jeringa de cada uno de los vasos de 50ml.
Importante: dejar 2ml de vacío en cada jeringa para mejor aplicación en las jarras.

5.4. Aplicación del coagulante.

a) Coloque el equipo a 300 r.p.m. y a ~~17 min~~. Adicione simultáneamente la dosis correspondiente a cada vaso, lo más cercano posible a la paleta de agitación.

Figura 57

Pesado del Al2(SO4)3 para la preparación de la solución al 2 %

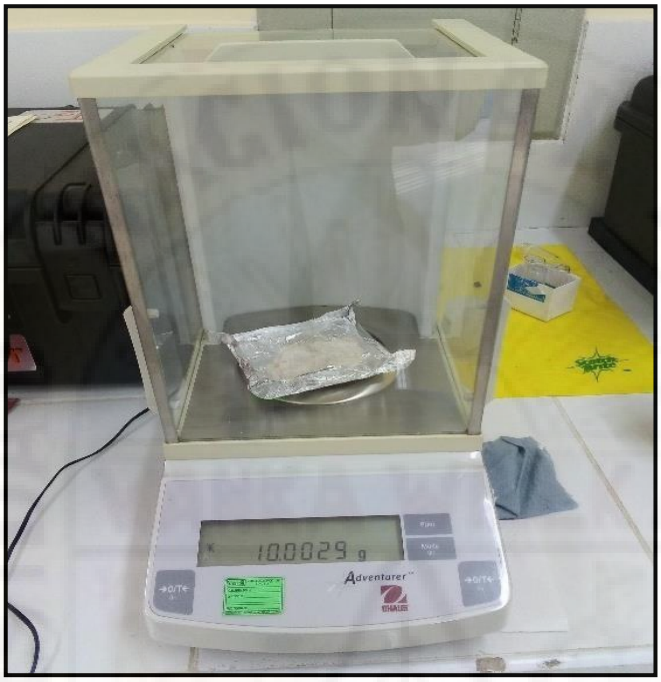


Figura 58

Preparación de la dosis de Al2(SO4)3 para turbiedades mayores a 1500 NTU

Figura 59

Preparación de la dosis de $Al_2(SO_4)_3$ para turbiedades mayores a 1500 NTU

Figura 60

Comparación de eficiencia entre las dosis de 40 ml/L de coagulante de mucilago denopal y 2 ml/L de $Al_2(SO_4)_3$ para la remoción de turbiedad

Figura 61

Recolección de muestras de agua tratada a través del sifón de vidrio

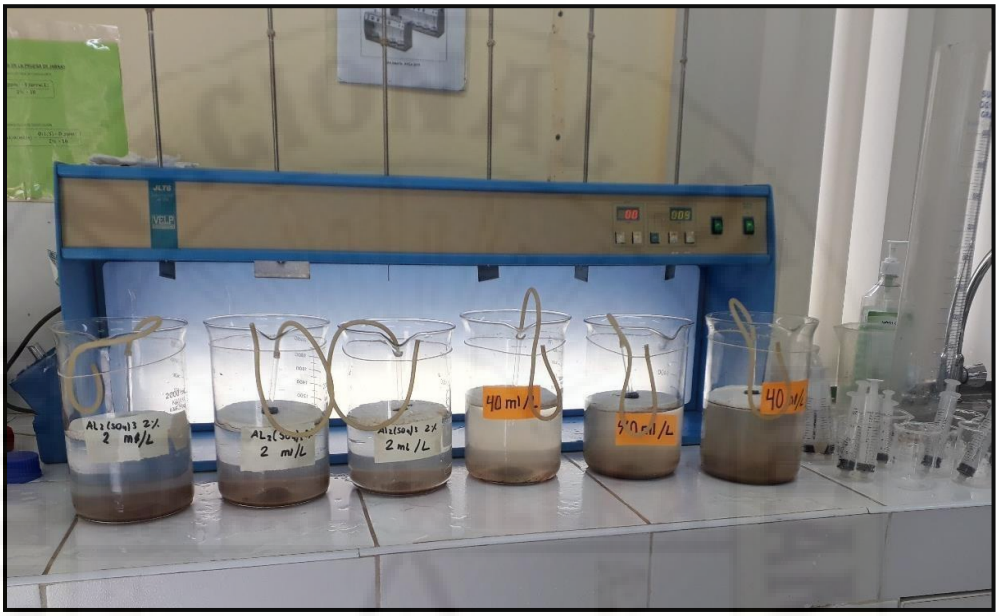


Figura 62

Muestras de agua tratada para la determinación de parámetros de estudio

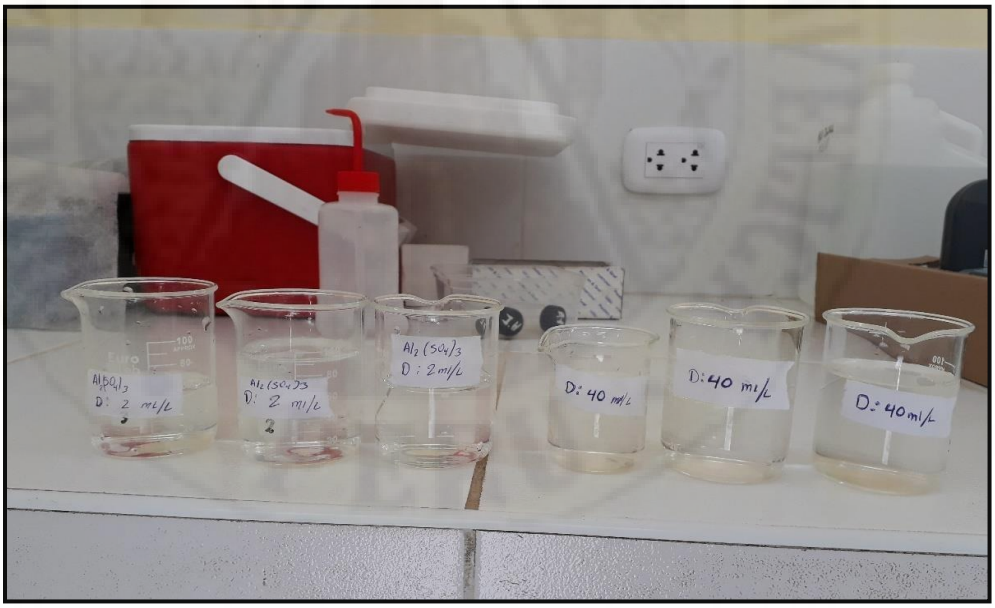


Figura 63

Análisis de parámetros con el turbídimetro Hach 2100 y multiparámetros HQ 40d.

Figura 64

Análisis de parámetros con el turbídimetro Hach 2100 y multiparámetros HQ 40d,