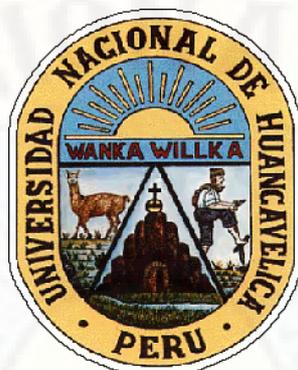


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS:

"EFECTO DE LA DOSIS Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES UTILIZANDO EL COAGULANTE *OPUNTIA FICUS-INDICA* COMO AYUDANTE EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA HUANCVELICA-2019"

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
GESTIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

Bach. GONZÁLES HUAMÁN, Maicol

Bach. RIVERA VARGAS, Nadia Soraya

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCVELICA, PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS



En la ciudad de Huancavelica, a los dieciocho días (18) del mes de noviembre del año 2021, siendo las tres y treinta de la tarde (3:30 p.m.), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana (Presidente), M.Sc. Jorge Luis Huere Peña (Secretario), M.Sc. Mabel Yesica Escobar Soldevilla (Vocal), reestructurados con Resolución de Decano N° 158-2021-FCI-UNH, de fecha 22 de julio del 2021, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: **“EFECTO DE LA DOSIS Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES UTILIZANDO EL COAGULANTE *OPUNTIA FICUS-INDICA* COMO AYUDANTE EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA HUANCVELICA-2019”**, presentado por los Bachilleres por **Maicol GONZÁLES HUAMÁN y Nadia Soraya RIVERA VARGAS**, con presencia del Dr. Fernando Martín 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 5:10 p.m. se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Maicol GONZÁLES HUAMÁN

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

Nadia Soraya RIVERA VARGAS

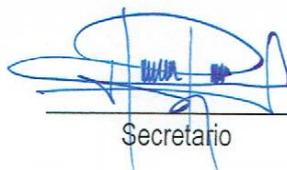
APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:



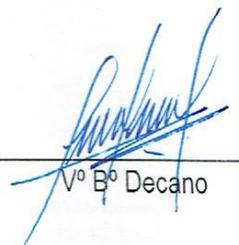
Presidente



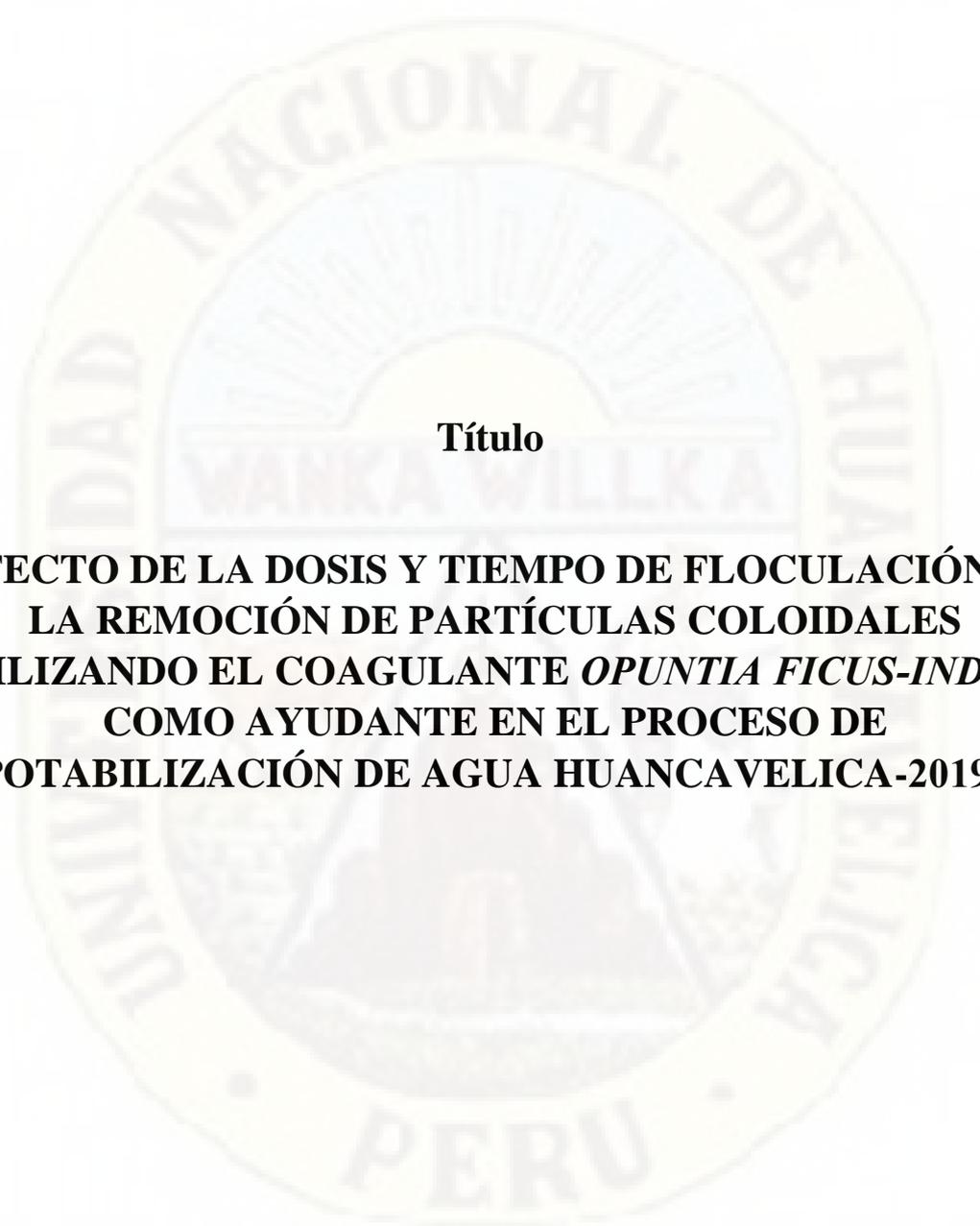
Secretario



Vocal

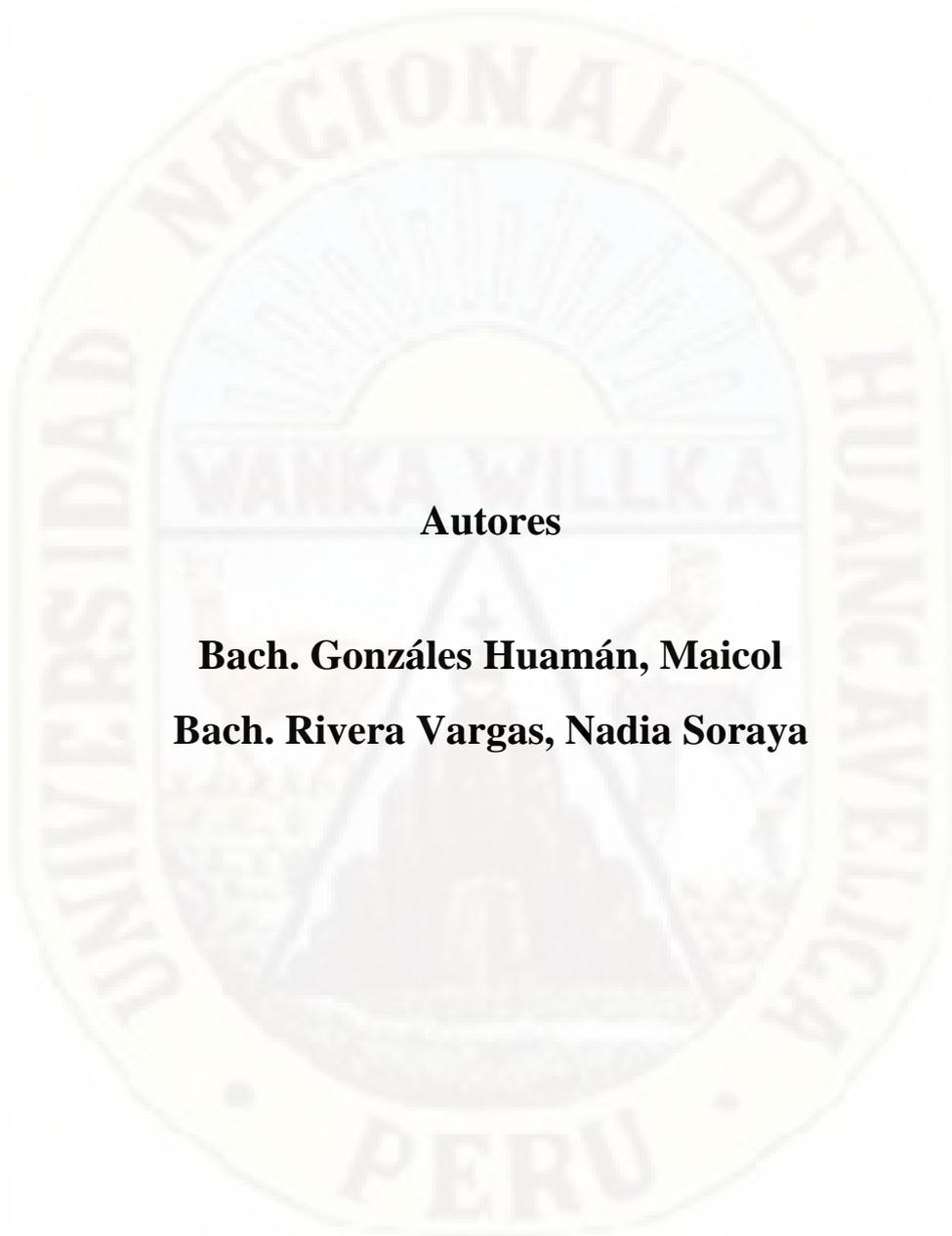


Vº Bº Decano



Título

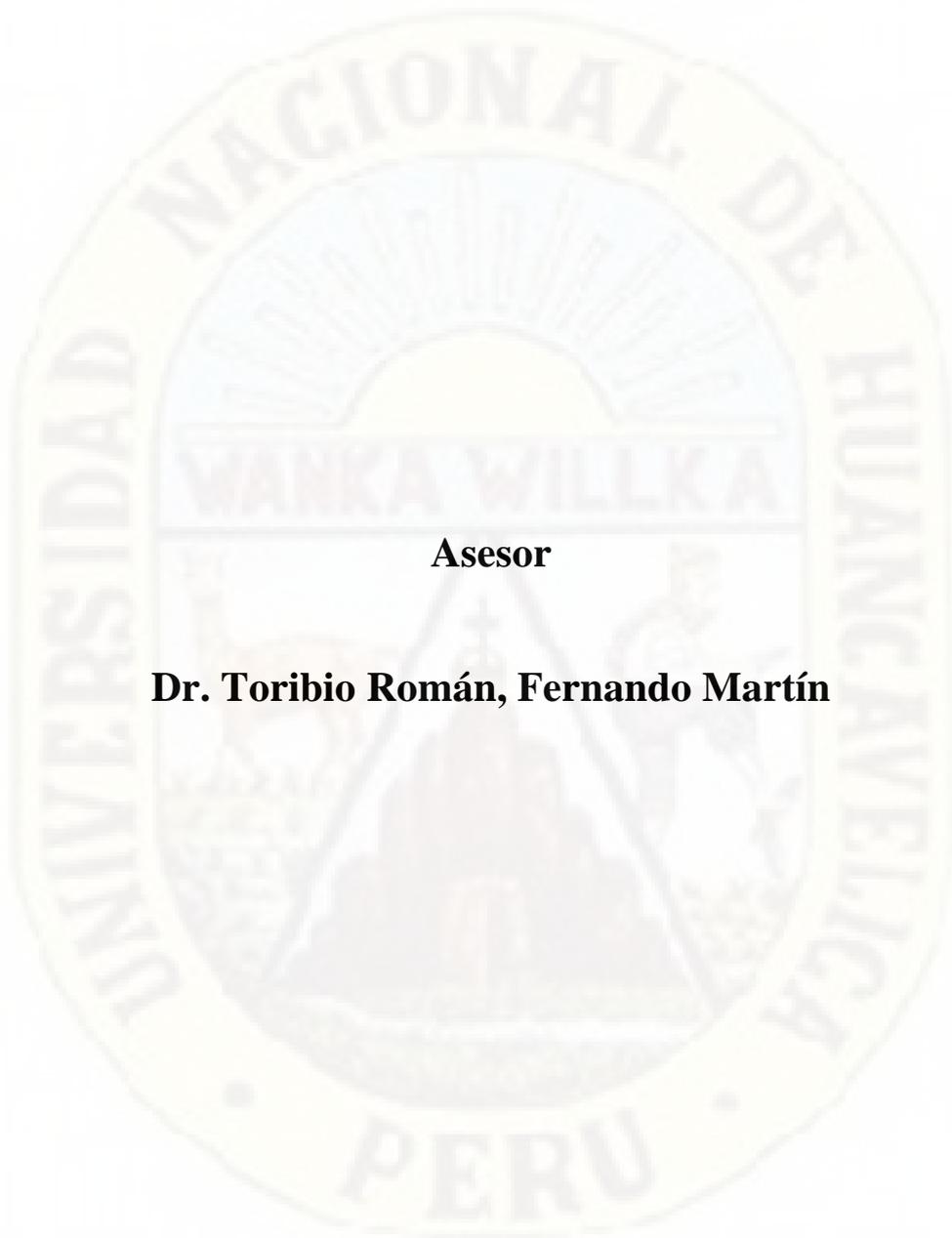
“EFECTO DE LA DOSIS Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES UTILIZANDO EL COAGULANTE *OPUNTIA FICUS-INDICA* COMO AYUDANTE EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA HUANCABELICA-2019”



Autores

Bach. González Huamán, Maicol

Bach. Rivera Vargas, Nadia Soraya



Asesor

Dr. Toribio Román, Fernando Martín

Dedicatoria

DE: Gonzáles Huamán, Maicol

A Dios por llenarme de bendiciones y darme la dicha de nacer dentro de una familia maravillosa.

A mi madre que ilumino mi camino y así lograr uno de mis objetivos que fue convertirme en un profesional.

A mi hermana y familiares porque siempre estuvieron dándome fuerzas y apoyándome para salir adelante.

DE: Rivera Vargas, Nadia Soraya

A Dios por guiar cada uno de mis pasos.

A mi madre Vilma Vargas y mi padre Teodoro Rivera por forjar en mi la persona que soy y por su apoyo incondicional para lograr mis objetivos.

Agradecimientos

A Dios, que nos dio la oportunidad de vivir, nos cuida, nos bendice y nos dio la oportunidad de cumplir una de nuestras metas.

A nuestros padres, hermanos y familiares que nos apoyaron económica y espiritualmente en todo momento, gracias a ellos conocemos el significado del sacrificio y constancia, el cual nos ayudó a subir un escalón más en nuestras vidas.

A nuestro asesor, el Dr. TORIBIO ROMÁN, Fernando Martín, quien nos brindó su tiempo para corregir y orientar de la mejor manera a nuestra investigación durante los procesos de formulación, ejecución y redacción del informe final, gracias también a su gran ánimo optimista el cual nos compartió para no renunciar el presente proyecto investigación y así convertirnos en profesionales. A nuestros señores jurados, quienes con sus observaciones y sus ilustrados consejos contribuyeron para que la presente investigación saliera de manera extraordinaria.

A nuestras amistades, compañeros de clase y trabajo por su constante insistencia para finalizar esta investigación.

A nuestra gloriosa Universidad Nacional de Huancavelica, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria quien nos abrió sus aulas alimentándonos de nuevos conocimientos para contribuir con los cambios positivos en nuestra región y país.

Los tesisistas

Índice general

Acta de sustentación.....	ii
Título	iii
Autores	iv
Asesor	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos	vii
Índice general	viii
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1. Descripción del Problema.....	19
1.2. Formulación del Problema.....	21
1.2.1. Problema General	21
1.2.2. Problemas específicos.....	21
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo General	22
1.3.2. Objetivo específico.....	22
1.4. Justificación	22
1.5. Limitaciones.....	24
CAPÍTULO II.....	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes	25
2.1.1. Antecedente Internacional.....	25
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	29
2.2. Bases teóricas.....	35
2.2.1. Teoría de la coagulación	35
2.2.2. Teoría del tratamiento del agua potable	35
2.3. Bases conceptuales.....	36
2.3.1. Proceso de potabilización del agua	36

2.3.2.	Parámetros fisicoquímicos del agua	37
2.3.3.	Tipos de coagulante	40
2.3.4.	Factores que influyen en la coagulación	42
2.3.5.	Mecanismos del proceso de coagulación	44
2.3.6.	Floculación	48
2.3.7.	Opuntia ficus-indica	49
2.4.	Definición de términos	55
2.5.	Hipótesis	56
2.6.	Variables	56
2.7.	Operacionalización de variables	57
CAPÍTULO III		58
MATERIALES Y MÉTODOS		58
3.1.	Ámbito temporal y espacial	58
3.1.1.	Ámbito temporal	58
3.1.2.	Ámbito espacial	58
3.2.	Tipo de investigación	59
3.3.	Nivel de investigación	59
3.4.	Método de investigación	59
3.5.	Diseño de investigación	60
3.6.	Población, muestra y muestreo	61
3.6.1.	Población	61
3.6.2.	Muestra	61
3.6.3.	Muestreo	61
3.7.	Instrumentos y técnicas para recolección de datos	62
3.7.1.	Técnicas para las pruebas Experimentales	62
3.7.2.	Instrumentos para la recolección de datos	64
3.7.3.	Ficha de recolección de datos	65
3.7.4.	Procedimiento de recolección de datos	65
3.8.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos	72
CAPÍTULO IV		73
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		73
4.1.	Análisis de información	73
4.2.	Prueba de hipótesis	82
5.4.	Discusión de resultados	94
CONCLUSIONES		98
RECOMENDACIONES		99

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
MATRIZ DE CONSISTENCIA	106
APÉNDICE	107



Índice de figuras

Figura 1 Proceso de coagulación del agua para su potabilización	37
Figura 2 Adición de coagulación.	40
Figura 3 Fuerzas de atracción y repulsión.....	45
Figura 4 Coagulación por barrido	46
Figura 5 Efecto de puente de las partículas en suspensión.....	47
Figura 6 Distribución de Opuntia Ficus-Indica en el mundo.	50
Figura 7 Cladodios tiernos mostrando las hojas caducas.	52
Figura 8 Cladodios con sus areolas y espinas.	52
Figura 9 Flores jóvenes de Opuntia ficus-indica.....	53
Figura 10 Diversidad de tonalidades y colores de las flores de tuna.....	53
Figura 11 Diversidad de formas y colores de los frutos de tuna.	54
Figura 12 Evolución del desarrollo y maduración de frutos de tuna.....	54
Figura 13 Ubicación de EMAPA Huancavelica (Huancavelica – Ascensión).....	58
Figura 14 Vista panorámica de EMAPA Huancavelica (Ascensión).....	61
Figura 15 Multiparámetro usado en el trabajo de investigación	64
Figura 16 Turbidímetro usado en la investigación.....	64
Figura 17 Equipo de Test de Jarra.....	65
Figura 18 Ubicación de la zona de recolección de las pencas de tuna (Opuntia ficus indica)	66
Figura 19 Limpieza de las pencas de tuna Opuntia ficus indica) seleccionadas	66
Figura 20 Rotulado, pesaje y rotulación de las pencas de tuna previamente seleccionadas	67
Figura 21 Pelado y picado de las pencas de tuna (Opuntia ficus indica)	67
Figura 22 Llenado de las pencas de tuna (Opuntia ficus indica) en las placas Petri.....	68
Figura 23 Ingreso de las placas Petri con las pencas de tuna (Opuntia ficus indica) a la mufla .	68
Figura 24 Trituración y tamizado de las pencas de tuna (Opuntia ficus indica) deshidratadas...	69
Figura 25 Recolección de muestras de agua de la captación Ichu - Huancavelica	69
Figura 26 Elaboración de las muestras madre de sulfato de aluminio y penca de tuna	70
Figura 27 Agitación de la muestra de agua y su medición de parámetros iniciales	70
Figura 28 Dosificado en el equipo de test de jarras	71
Figura 29 Ejecución del equipo test de jarras.....	71
Figura 30 Dosis óptima y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a una dosis de 3 mg/L de Opuntia ficus-indica	77
Figura 31 Dosis óptima y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a una dosis de 5 mg/L Opuntia ficus-indica	78
Figura 32 Tiempo óptimo y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a 3 mg/L Opuntia ficus-indica	80
Figura 33 Tiempo óptimo y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a 5 mg/L Opuntia ficus-indica	81
Figura 34 Grafica del valor crítico y el valor de Fisher en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica	87
Figura 35 Grafica del valor crítico y el valor de Fisher de la dosis óptima	89
Figura 36 Grafica del valor crítico y el valor de Fisher para tiempo óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica	91
Figura 37 Ubicación del área de recolección de las pencas de tuna.....	107

Figura 38 Limpieza de impurezas y espinas de las pencas.	107
Figura 39 Las pencas de tuna con sus respectivos rótulos.	108
Figura 40 Pesado de las pencas de tuna.	108
Figura 41 Medición de las pencas de tuna (Long, ancho y espesor).	109
Figura 42 Pelado de las pencas de tuna.	109
Figura 43 Picado de las pencas de tuna.	110
Figura 44 Llenado de las pencas de tuna a las placas Petri.	110
Figura 45 Placas Petri en la Mufla, la correcta forma de tapar las placas para la deshidratación de las pencas.	111
Figura 46 Pencas de tuna deshidratadas después de sacar de la Mufla.	111
Figura 47 Moler en el mortero.	112
Figura 48 Tamizando la harina de la penca con el tamiz N°35.	112
Figura 49 Harina de penca de tuna en envase.	113
Figura 50 Recolecta de la muestra de agua de la captación Ichu.	113
Figura 51 Elaboración de la muestra madre del sulfato de aluminio.	114
Figura 52 Pesado de 10gr de sulfato de aluminio en la balanza analítica.	114
Figura 53 Llenar en la fiola de 100ml el sulfato de aluminio.	115
Figura 54 Echar agua destilada a la fiola hasta los 100ml.	115
Figura 55 Agitado de la fiola.	116
Figura 56 Muestra madre al 2% de sulfato de aluminio rotulada.	116
Figura 57 Muestra madre de penca de tuna al 2%.	117
Figura 58 Muestras madre de penca de tuna y sulfato de aluminio.	117
Figura 59 Preparado de las 6 dosis (sulfato y su ayudante el mucilago).	118
Figura 60 Medición de los parámetros de la muestra.	118
Figura 61 Colocando correctamente las jarras.	119
Figura 62 Dosificando a las jarras con las 6 dosis.	119
Figura 63 Jarra con su respectivo flotador.	120
Figura 64 Expulsando con la jeringa unos 5 ml del agua de los flotadores.	120
Figura 65 Sacando con los flotadores el agua de cada jarra para su posterior análisis.	121
Figura 66 Solicitando permiso al gerente de EMAPA para el acceso a sus equipos.	121
Figura 67 Acondicionando las jarras con deflectores para su mayor remoción.	122
Figura 68 Confiabilidad de los instrumentos para la recolección de datos.	123
Figura 69 Solicitud para el uso del laboratorio EMAPA - HVCA.	125

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de polielectrolitos.	41
Tabla 2 Polímeros naturales.	41
Tabla 3 Operacionalización de las variables (dependientes e independientes del proyecto).	57
Tabla 4 Descripción detallada del procedimiento de recolección de datos.	63
Tabla 5 Porcentaje (%) de remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica a 3 mg/L y sulfato de aluminio a 40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L respecto a la dosis y tiempo.	74
Tabla 6 Remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica a 5 mg/L y sulfato de aluminio a 40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L respecto a la dosis y tiempo.	75
Tabla 7 Dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.	76
Tabla 8 Tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.	79
Tabla 9 Test de normalidad para dosis y tiempo en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.	82
Tabla 10 Test de homogeneidad de varianza para dosis y tiempo en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.	83
Tabla 11 Análisis de varianza (ANAVA) comparando las remociones respecto a las dosis (43 a 68 mg/L) y tiempos (5 a 30 min).	86
Tabla 12 Prueba de medias de Tukey en las unidades de dosis (mg/L) y tiempo(min) óptimo del coagulante de Opuntia ficus-indica como ayudante.	88
Tabla 13 Análisis de varianza (ANAVA) comparando las remociones respecto a las dosis (43, 48, 53, 58, 63 y 68 mg/L).	88
Tabla 14 Prueba de medias de Tukey en las unidades de dosis óptima (mg/L) del coagulante de Opuntia ficus-indica como ayudante.	90
Tabla 15 Análisis de varianza (ANAVA) comparando las remociones respecto a los tiempos (5, 10, 15, 20, 25, 30 min).	90
Tabla 16 Prueba de medias de Tukey en las unidades de tiempo óptimo (min) del coagulante de Opuntia ficus-indica como ayudante, (a, b y c) son promedios (medias) dentro de columnas con letras diferentes difieren entre si según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).	92

INTRODUCCIÓN

Las descargas de efluentes de diferentes actividades antropogénicas generan la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales, el agua cruda que proviene de los ríos, lagos y manantiales traslada diversas impurezas, como pueden ser: gases, polvo y microorganismo. El agua contiene varias sustancias, entre solubles e insolubles, siendo las partículas coloidales las que destacan; son difíciles de remover por sus dimensiones microscópicas, también por la presencia de carga eléctrica en su superficie que impiden que se acerquen entre ellas, haciendo que permanezcan estables en el medio que los rodea, por esta razón, es importante adicionar un tipo de sustancia que logre su desestabilización para ser removidas.

Según (Barrenechea, 2016) la remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración. La coagulación se encuentra ligado y en función a las características del agua, así como de las partículas presentes, estas a su vez logran detallar el valor de alguno de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, turbiedad, color verdadero, temperatura, movilidad electroforética, fuerza iónica, sólidos totales disueltos y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etcétera.

Encontramos diferentes coagulantes entre los más usados de origen sintético se encuentra el sulfato de aluminio, por la capacidad alta de remoción de partículas coloidales, así mismo, es asimilado con facilidad por las personas, causando enfermedades a largo plazo, el efecto está asociado a diferentes enfermedades como cáncer, alzhéimer y enfermedades óseas (Olivero et al. 2013); a su vez estas generan una gran cantidad de lodos como no pueden ser utilizados como biosólidos, al no ser amigable con el medio ambiente impactan negativamente los suelos y el agua (Miller et al., 2008; Yin, 2010).

Por ello, es importante realizar investigaciones de coagulantes y floculantes de origen vegetal, para así contribuir a la disminución del uso de coagulantes sintéticos, también sus efectos adversos. Asimismo Olivero et al. (2013) señala que al usar los coagulantes naturales comprende algunas ventajas, las cuales son, por ser sustancias comestibles no representan un riesgo tóxico a la salud, asimismo, los lodos generados tienen la capacidad de biodegradar fácilmente y la cantidad que genera es menor a comparación con los lodos generados por coagulantes sintéticos; así también, la inversión de producción y transporte de los coagulantes vegetales, es menor comparado con la inversión de compra e importación del sulfato de aluminio.

Por lo expuesto, el presente proyecto de investigación denominado “Efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019” pretende encontrar la dosis óptima y tiempo óptimo, usando el coagulante natural *opuntia ficus-indica* como ayudante del sulfato de aluminio. Por este motivo el presente trabajo de investigación comprende el desarrollo de IV capítulos.

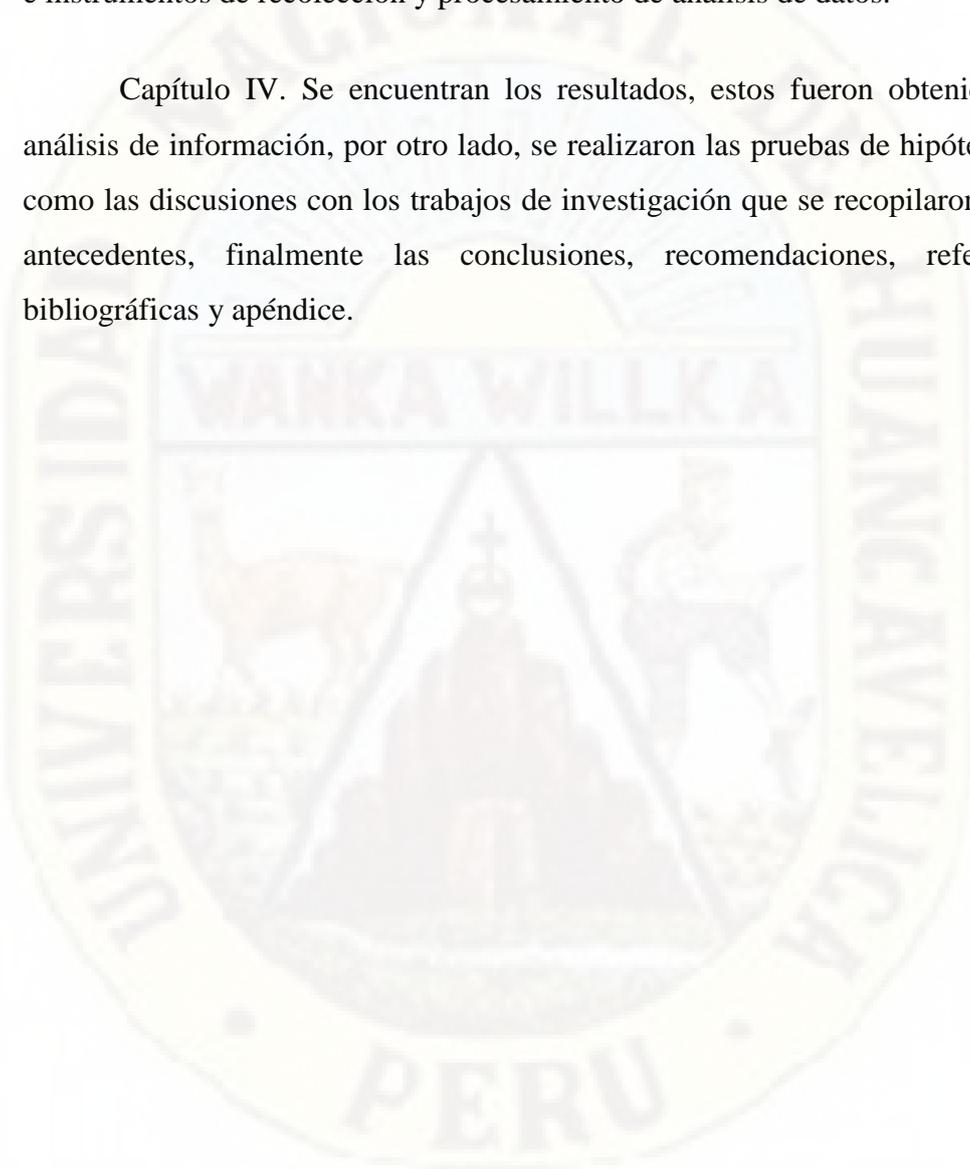
Capítulo I. Se detalla el planteamiento de problema, el cual da inicio al presente proyecto de investigación donde se da a conocer el uso alternativo del coagulante natural para remover las partículas coloidales y así reducir el uso del coagulante sintético, para reducir el impacto negativo en los seres humanos y el agua misma, así mismo utilizar esta alternativa sostenible en el proceso de coagulación y floculación de las aguas del río Ichu, que son captadas por la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Huancavelica, también, se presenta los objetivos, justificación, por último, se describe las limitaciones.

Capítulo II. Se muestra los antecedentes nacionales e internacionales, marco teórico que se divide en bases teóricas, la cual permite explicar los procesos de coagulación y floculación y la aplicación del coagulante natural como alternativa para la remoción de las partículas coloidales e información científica del proyecto de investigación, bases conceptuales que permitirá fortificar la

investigación y definición de términos, también se muestra la hipótesis y las variables (dependiente e independiente).

Capítulo III. Se presenta la metodología de investigación, con la información sobre el ámbito temporal-espacial, tipo y nivel de la investigación, así mismo, se detalla la población, muestra y muestreo terminando con las técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de análisis de datos.

Capítulo IV. Se encuentran los resultados, estos fueron obtenidos del análisis de información, por otro lado, se realizaron las pruebas de hipótesis, así como las discusiones con los trabajos de investigación que se recopilaban en los antecedentes, finalmente las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y apéndice.



RESUMEN

La presente investigación, se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la dosis y tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019. Para ello como muestra se estableció el agua que se encuentra en la cámara de reparto de la PTAP Millpo, por un muestreo no probabilístico, por consiguiente, se utilizó las dosis de; sulfato de aluminio (40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L) y mucilago de penca de tuna (3 y 5 mg/L) este último como ayudante, con una concentración del 2 %, a 300 rpm durante 5 segundos y 30 rpm para los tiempos de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos, todo esto se realizó mediante el Test de Jarras y un tiempo de sedimentación de 10 minutos. Como resultados se obtuvo la dosis y tiempo óptimas de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante (3 y 5 mg/L); siendo estos 58 mg/L y 15 minutos, 60 mg/L y 15 minutos alcanzando remociones de 89.01 % y 87.32 %, respectivamente, además de ello para determinar la dosis óptimas de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante, en las dosis de 3 mg/L y 5 mg/L de 58 mg/L, con una remoción efectiva del 75.64 % y 65 mg/L con un porcentaje de remoción de partículas coloidales de 72.03 % respectivamente, en tanto para el tiempo óptimo de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante; para las dosis de 3 mg/L y 5 mg/L fueron de 15 minutos en ambas dosis, logrando un porcentaje de remoción ligeramente significativa de 84.03 % y 83.58 % respectivamente. En conclusión, la mejor dosis de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante fue de 3 mg/L respecto de 5 mg/L; debido a la mayor remoción alcanzada con un tiempo óptimo de 15 minutos.

Palabras clave: dosis de floculación, efecto de remoción, remoción de partículas coloidales, *Opuntia ficus-indica*, penca de tuna, sulfato de aluminio, concentración.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of evaluating the effect of the dose and optimal flocculation time in the removal of colloidal particles using the coagulant *Opuntia ficus-indica* as an assistant in the Huancavelica-2019 water purification process. For this, as a sample, the water found in the distribution chamber of the Millpo PTAP was established, by a non-probabilistic sampling, therefore, the doses of; aluminum sulfate (40, 45, 50, 55, 60 and 65 mg / L) and prickly pear leaf mucilage (3 and 5 mg / L) the latter as an assistant, with a concentration of 2%, at 300 rpm for 5 seconds and 30 rpm for the times of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes, all this was carried out by means of the Jar Test and a sedimentation time of 10 minutes. As results, the optimal dose and time of aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3$ and prickly pear leaf (*Opuntia ficus-indica*) as assistant (3 and 5 mg / L) were obtained; these being 58 mg / L and 15 minutes, 60 mg / L and 15 minutes reaching removals of 89.01% and 87.32%, respectively, in addition to it to determine the optimal dose of aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3$ and prickly pear stalk (*Opuntia ficus-indica*) as an assistant, in the doses of 3 mg / L and 5 mg / L of 58 mg / L, with an effective removal of 75.64% and 65 mg / L with a removal percentage of colloidal particles of 72.03% respectively, for the optimal time of aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3$ and prickly pear leaf (*Opuntia ficus-indica*) as assistant; for the 3 mg / L and 5 mg / L doses, they were 15 minutes in both doses, achieving a slightly significant removal percentage of 84.03% and 83.58% respectively. In conclusion, the best dose of prickly pear leaf (*Opuntia ficus-indica*) as an assistant was 3 mg / L compared to 5 mg / L; due to the greater removal achieved with an optimal time of 15 minutes.

Keywords: flocculation dose, removal effect, removal of colloidal particles, *Opuntia ficus-indica*, prickly pear leaf, aluminum sulfate, concentration.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

El 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua; por el contrario, no toda esta agua puede ser utilizada por los individuos, ya que el 97% es salino, 2% es dulce y se encuentra en los glaciales y acuíferos subterráneos, en conclusión, disponemos una cantidad mínima para nuestro uso y el de la flora y fauna terrestres que representa el 1% del agua del planeta, además las aguas superficiales, son las aguas que se encuentran en la superficie terrestre como los ríos, lagos y lagunas, en cuanto a las aguas de origen subterráneo, se encuentran en el sub suelo acumulados por filtración, asimismo, el agua que proviene de estas fuentes, debe ser tratada para poder ser apto para el consumo humano o de otra manera la población abastecida sufriría graves enfermedades, por otra parte la contaminación del agua es causada por diferentes actividades antropogénicas y la acción de la naturaleza (Salamanca, 2016).

Sin embargo, el agua para consumo humano demanda tratamientos minuciosos y estos depende del tipo de fuente de captación ya sea lagos, mares, ríos y demás fuentes superficiales o subterráneas (Nava, 2017).

Uno de esos tratamientos de acuerdo Barrenechea (2016) es la denominada remoción de las partículas coloidales este tiene una relación estricta con el manejo de una adecuada coagulación, pues de ello depende la adecuada eficiencia de las siguientes etapas que se presenta a continuación: floculación, sedimentación y filtración. Entonces el proceso de coagulación está articulado con las características del agua, así como de las partículas que se encuentran presentes en ello, estos detallan alguno de sus parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, movilidad electroforética, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etcétera.

Por lo que, el siguiente autor realizó la investigación en el ámbito internacional dando a conocer las problemáticas del uso de coagulante químico, asimismo, no indica el uso alternativo de un coagulante natural, por otra parte, el coagulante químico más usado en el proceso de coagulación y floculación es

el Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$, sin embargo, en los diferentes estudios realizados, se ha comprobado que este coagulante químico deja aluminio residual, el mismo que podría causar enfermedades como el Alzheimer, por lo tanto, se debe reducir el uso de este insumo optando por las especies vegetativas que tienen características coagulantes, por lo que, en esta investigación se utilizó el mucílago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en estado fresco para la clarificación del agua de consumo humano en la comunidad de Pusir Grande, Provincia del Carchi, aprovechando que esta materia prima existe en la zona (Morejón, 2017).

En el Perú las causas más frecuentes de contaminación de aguas, son las descargas directas de aguas servidas a los cuerpos receptores (ríos, lagos, quebradas secas o el mar), provocando contaminación de nuestros principales fuentes de abastecimiento de agua, tanto superficiales como subterráneas, afectando la sostenibilidad del recurso y atentando con la salud pública (Momiy, 2015).

Por lo que, se realizó la investigación en el ámbito nacional dando a conocer algunas problemáticas y alternativas de solución al usar el coagulante químico, asimismo, dio una alternativa para el funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Agua Potable usando el coagulante natural de la *opuntia ficus-indica* par el proceso de remoción de turbidez y color de las aguas en los riachuelos de Anccoajayo, Jayo, Pincahuacho, e incluso en el rio Chalhuanca; para poder brindar un servicio eficiente y de buena calidad, debido a que el servicio actual es de mala calidad, generando casos de enfermedades, por lo que, Esta investigación plantea el uso del coagulante del nopal obtenido de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) que sirve como ayudante en la coagulación del sulfato de aluminio tipo A, debido a que es una planta que abunda en esta cordillera especialmente en el territorio de Chalhuanca, se obtuvo con un método muy simple y poco costoso, al alcance de la población y personal profesional, asimismo, por medio de esta investigación experimental se logró evaluar la capacidad de remoción y color tomando en cuenta de pH que tiene la baba de nopal obtenida a partir de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), presentes en el agua cruda del riachuelo de Chalhuanca (Torres, 2017).

En Huancavelica en la época de máximas avenidas del río Ichu hay un aumento del caudal, por lo que, el agua se torna más turbio pues arrastra más partículas livianas, afectando a nuestras fuentes de captación, por lo tanto, la Planta de Tratamiento de Agua Potable EMAPA-Huancavelica utiliza mayor cantidad de coagulante químico (sulfato de aluminio) en el proceso de coagulación y floculación para remover las partículas coloidales, por tanto, genera una mayor inversión e impacto negativo en la salud de los usuarios y al medio ambiente. Por lo tanto, nuestro proyecto de investigación ha sido encontrar la dosis y tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica, por lo que, se reducirá el uso del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en la remoción de las partículas coloidales, pues, el tratamiento del agua será sostenible.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de la dosis y tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo determinar la dosis óptima de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019?
- ¿Cómo determinar el tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la dosis y tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.

1.3.2. Objetivo específico

- Determinar la dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.
- Determinar el tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.

1.4. Justificación

En la actualidad la demanda de agua potable es mayor, ya que, la población está creciendo, por tanto, requiere tratamientos sumamente eficaces, específicamente en la remoción de la turbidez, así como el proceso de coagulación y floculación, al enfatizar sobre la calidad del agua, determinamos el grado de contaminación de este recurso vital, a causa de, los vertimientos de sustancias generadas por actividades antropogénicas o por acción de la naturaleza.

La remoción de la turbidez y el color del agua fueron el motivo de los primeros tratamientos del agua para consumo humano, teniendo en cuenta que, varios cuerpos de agua naturales estaban contaminadas por partículas que tenían un aspecto y sabor discutibles (Maldonado, 2018).

La turbidez del agua se ve afectado por diferentes actores como, la precipitación, efluentes cercanos, cambios climáticos, descarga de residuos sólidos, en consecuencia, pueden afectar a la confiabilidad de esta.

De allí que, para Olivares et al., (2013) el coagulante químico más utilizado para el proceso de coagulación y floculación en el tratamiento de agua

potable, es el sulfato de aluminio o alumbre, por su alta capacidad de remoción de la turbidez.

Por el contrario, al aplicar una concentración de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ mayor al 0.1 mg/l en el proceso de coagulación del agua, causa efectos adversos en la salud, como la demencia, el Alzheimer, diversos tipos de cáncer y padecimientos en los huesos (Parra et al., 2011); a su vez, generan una gran cantidad de lodos, al no poder ser utilizados como biosólidos, impactan negativamente los suelos y el agua (Miller et al., 2008)

Por consiguiente, surgió la necesidad de sustituir o minimizar el uso del Sulfato de Aluminio, en este caso aplicando el coagulante natural de la Penca de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante del sulfato de aluminio, además, la tasación de coagulantes naturales es de vital importancia en el proceso de coagulación y floculación del agua en el ámbito de la ingeniería ambiental y sanitaria. Encontrar alternativas en la naturaleza que tengan la capacidad de remoción idéntica a los coagulantes químicos (Cerón & Nadine, 2015). Además, es muy ventajoso utilizar coagulantes naturales, porque en su gran mayoría es una sustancia que puede ser consumido por el ser humano, así que, no causaría ningún riesgo a los seres vivos al estar presente en el tratamiento, (Fuentes et al., 2011). Por otro lado, el lodo que generan los coagulantes de origen vegetal es altamente biodegradables (Guardián y Coto, 2011).

Cabe precisar que la producción de tuna está presente en 16 de los 24 departamentos del Perú, los departamentos que mayor producción presentan son los siguientes: Ayacucho (20,25 %), Huancavelica (14,65 %), Arequipa (14,84 %), Lima (14,02 %) y Apurímac (8,25 %), (Según la Dirección General Agrícola (DGA), 2017).

En tanto el presente proyecto de investigación fue aplicado en la planta de tratamiento de agua potable del distrito de Huancavelica, el sistema de agua potable de la EPS EMAPA Huancavelica, que cuenta con captación, línea de conducción, cámara rompe presión, pre sedimentador, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, reservorios y red de distribución, en particular, la investigación se enfocó en el proceso de mezcla rápida y floculación aplicando la penca de tuna como ayudante del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación y floculación del agua cruda de la captación Ichu, ya que el agua era más turbio en comparación con la captación

Callqui. Por consiguiente, este proyecto de investigación tiene un gran aporte para la ciencia, la sociedad y lo académico, debido a que se cuenta con existencia de la penca de tuna en la región de Huancavelica, facilitando la investigación que ayudará en la reducción del impacto negativo de los coagulantes químicos, en tanto, habrá una alternativa ecológica, sostenible, amigable con el medio ambiente y que beneficie a la ciudadanía.

1.5.Limitaciones

Iniciando el proyecto de investigación se tuvo dificultades, debido a que se propagó el Covid-19, en consecuencia, el estado de emergencia sanitaria decretado en todo el país, así como las cuarentenas dictadas por el gobierno, se tuvo la necesidad de hacer un cambio en la fecha de la etapa de ejecución del proyecto, así mismo fue complicado el desplazamiento a la EPS EMAPA Huancavelica, por el poco tránsito vehicular.

Por otro lado, la escuela profesional de ingeniería Ambiental y Sanitaria no cuenta con un laboratorio equipado, así que se tuvo que solicitar el laboratorio de la EPS EMAPA Huancavelica, este último cuenta con la planta Ichu y Millpo, sin embargo, dichos ambientes se encuentran alejados, lo que dificultó el traslado de las muestras de agua cruda tomadas de la planta Ichu, además este último no cuenta con el equipo de Test de Jarras de 6 vasos.

Por otra parte. se tuvo dificultad en el ingreso al laboratorio, ya que se requería el acceso por periodos de 4 a 5 horas diarias, también, por el distanciamiento social de las personas, llegando a un dialogo con el jefe de laboratorio, las practicantes y demás investigadores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedente Internacional

Atupaña y Guacho (2019) elaboraron la tesis titulada *Determinación de la eficiencia del opuntia ficus-indica como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río Bulubulu*, siendo el objetivo: evaluar la eficacia del biocoagulante *Opuntia Ficus-Indica* en el tratamiento de las aguas superficiales en el río BuluBulu, siendo la hipótesis: determinar la eficacia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante para el tratamiento de las aguas superficiales en muestras del río Bulubulu y como resultados: muestran que utilizando una concentración de 10 mg/L del biocoagulante *Opuntia Ficus-Indica* remueve un total de 96.21 %, así mismo tuvo una remoción de pH de 6.94 %, color de 65 % y los coliformes totales de 99.72 % y finalmente como conclusiones: se logró demostrar que el biocoagulante tiene una eficiencia de 66.47 % en el tratamiento del agua en el río Bulubulu.

Olivero et al., (2017) realizaron la investigación *Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus-indica y Moringa oleífera en clarificación de aguas*, el objetivo fue: evaluar el desempeño de tres tipos de coagulantes para la remoción de sólidos suspendidos y disueltos para el tratamiento del agua del río Magdalena, la hipótesis fue: desempeño en la utilización de la *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* para la clarificación de aguas, como resultados: se realizó la comparación de los coagulantes mezclados y separados para saber si al momento de usar el sulfato de aluminio altera la clarificación; por ello se hizo la comparación de los valores aceptables de los parámetros fisicoquímicos para el agua potable en 2 UNT para la turbidez, y entre 0,10 y 0,20 para el color, señalados en la normativa de Colombia, las conclusiones fueron las siguientes: realizando la mezcla de *Moringa oleífera* y *Opuntia ficus* se logra la remoción de una turbidez mayor al 90 %, a diferencia de la

mezcla de alumbre y coagulantes naturales, el cual solo logra remover al menos un 99 % de turbidez en el agua.

Castellanos (2017) realizó la investigación *Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia*, el objetivo fue: identificar los coagulantes naturales utilizados como alternativa de procesos convencionales de remoción de color y turbidez, la hipótesis fue: la identificación de la eficiencia de remoción de color y turbidez, los resultados hallados fueron: el uso de coagulantes naturales los flóculos se forman en la mezcla rápida, aumentando el volumen de agua tratada y se obtienen flóculos más consistentes, por lo tanto gradientes altos de velocidad de floculación, las conclusiones fueron las siguientes: los coagulantes naturales identificados en esta revisión alcanzan porcentajes de remoción de turbidez y color semejantes a los coagulantes inorgánicos, sin embargo los beneficios para la salud humana y el ambiente, hacen de estos una alternativa viable para el tratamiento de aguas potables en zonas rurales y urbanas.

Morejón (2017) realizó la 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*, el objetivo fue: mejorar la calidad del agua de consumo humano utilizando mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la comunidad de Pusir Grande, la hipótesis fue: la utilización de mucílago de tuna no influye en el mejoramiento del agua para consumo humano en la comunidad de Pusir Grande, los resultados hallados fueron: el sulfato de aluminio empleado es de 11,32 L/día, mientras que, para el mucílago de la penca de Tuna determinada en el ensayo, la cantidad recomendada es de 130 L/día, finalmente las conclusiones fueron las siguientes: el mucilago de la penca de tuna como alternativa viable en el servicio de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pusir Grande.

Ramírez y Jaramillo (2016) realizaron la investigación *Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua*, el objetivo fue: conocer sus principales aplicaciones en el tratamiento del agua como alternativas de solución, la hipótesis fue: los agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua son eficientes para su

remoción y turbidez, en cuanto a los resultados: los dos agentes que presentan gran capacidad en los procesos de coagulación del agua son la moringa oleífera y diferentes tipos de cactus; siendo una alternativa ambientalmente sostenible para poblaciones que no puedan acceder al agua debido a su situación socioeconómica, las conclusiones fueron las siguientes: todos los extractos, de origen natural, ensayados y reportados por en esta revisión son eficientes en la remoción de turbidez del agua, comparados en algunos casos con el sulfato de férrico o aluminio.

Fuentes et al., (2016) realizaron la investigación *Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas*, el objetivo fue: la evaluación de la eficiencia de estos coagulantes naturales Moringa Oleífera, *Opuntia*, Algas Marinas y Almidón, para la clarificación de las aguas de consumo humano, como reemplazo del sulfato de aluminio en sistemas batch y continuos, la hipótesis fue: Factibilidad de coagulante naturales como sustituto de coagulante químico, los resultados hallados fueron: las remociones que mayor eficiencia presentaron con pretratamientos a excepción del cactus se encuentran en un 88.26% para moringa usando $Ca(OH)_2$, 79.73 % para almidón con NaOH; 81.14 % para algas con $CaCl_2$ y 98.41 % para cactus siendo la más eficiente, las conclusiones fueron las siguientes: se logró resolver las condiciones óptimas de los coagulantes naturales, siendo eficaces, económicos y muy seguros para el tratamiento de aguas, generando menor cantidad de lodos, con los mecanismos de adsorción y neutralización de cargas.

Alcázar (2015) realizó la investigación *Aplicación de un coagulante natural obteniendo a partir de la penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la mejora de la calidad de aguas de consumo en la localidad de Achocalla*, el objetivo fue: mejorar la calidad de aguas naturales de consumo en Achocalla, mediante la aplicación de la penca de tuna, como opción de un tratamiento alternativo convencional, la hipótesis fue: factibilidad del uso de la penca de tuna en aguas en la localidad Achocalla, los resultados hallados fueron: con la aplicación del sulfato de aluminio en muestras de agua natural, bajo las mismas condiciones, se logró determinar que el sulfato de aluminio presenta un

mayor porcentaje de remoción de turbiedad con un promedio del 96.62 % y 96.05% para las muestras A y B respectivamente, las conclusiones fueron las siguientes: el coagulante de penca de tuna con respecto al sulfato de aluminio tiene un comportamiento eficiente en cuanto a la disminución de la turbiedad.

Olivero et al., (2015) realizaron la investigación *El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua*, el objetivo fue: estimar la eficiencia del Nopal extraído de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como complemento natural al sulfato de aluminio, en el proceso de clarificación de agua proveniente del río Magdalena, la hipótesis fue: utilización del Nopal como coagulante como complemento para la clarificación de agua, los resultados hallados fueron: se logró alcanzar una eficiencia mayor al 50 % en la remoción de turbidez del agua alcanzando valores inferiores a 2 NTU, siendo las más efectivas entre 96-98 %, el coagulante natural no tiene un efecto notablemente en el pH del agua tratada, así mismo la conductividad aumentó en algunos tratamientos debido a al contacto con el coagulante primario, las conclusiones fueron las siguientes: el mucílago de nopal como coagulante natural y complemento al sulfato de aluminio demostró efectividad en la clarificación del agua.

Olivero et al., (2015) realizaron la investigación *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica*, el objetivo fue: remover la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*, la hipótesis fue: eficacia del mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* en la remoción de la turbidez en el río Magdalena, los resultados hallados fueron: el análisis estadístico (ANAVA) mostró que el tipo de coagulante influyó en el proceso de clarificación del agua, la mayor remoción de la turbidez del agua del río Magdalena se logró con alumbre (99,80 %); siendo la remoción con *Opuntia ficus indica* menor (93,25 %), las conclusiones fueron las siguientes: el mucílago del nopal *Opuntia ficus indica* remueve la turbidez del agua del río Magdalena.

Solís et al., (2015) realizaron la investigación *Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales*, el objetivo fue:

verificar el potencial de coagulación-floculación al mezclar el polímero natural basado en almidón extraído de la yuca con sulfato de aluminio comercial, la hipótesis fue: comparar la eficiencia de remoción de partículas suspendidas con la eficiencia alcanzada con solamente sulfato de aluminio grado comercial, los resultados hallados fueron: el pH inicial de la muestra de agua fue de 6.9, con la dosis óptima (30 mg/L de sulfato de aluminio comercial) y con las mezclas coagulantes (tratamiento 2 al 7) el pH aumentó gradualmente por encima del tratamiento, las conclusiones fueron las siguientes: elaborar futuras investigaciones con almidones estructuralmente modificados empleando técnicas con el fin de elevar la efectividad en la remoción de color y turbiedad en procesos de tratamiento de aguas superficiales y eliminar el uso de coagulantes metálicos.

Olivero et al., (2014) realizaron la investigación *Utilización de Tuna (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas*, el objetivo fue: evaluar las propiedades que tiene la tuna *Opuntia ficus-indica* y el alumbre en la clarificación de las aguas del río Magdalena en Magangué, Colombia, la hipótesis fue: coagulante natural *Opuntia ficus-indica* en la clarificación de aguas crudas, los resultados hallados fueron: la velocidad de agitación fue de 200 rpm, pero cabe resaltar que, el alumbre fue más eficiente, los valores obtenidos de este parámetro físico-químico después de llevar a cabo el proceso de clarificación del agua con el coagulante natural, no cumplieron con el requerimiento estipulado en la norma técnica colombiana para agua potable, las conclusiones fueron las siguientes: se probó que la eficiencia que tiene el mucílago extraído de la tuna *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Puma (2020) elaboró la tesis titulada *Evaluación del proceso de coagulación y floculación con mucílago de opuntia ficus indica como adyuvante del $FeCl_3$ en efluentes de servicios de comida*, el objetivo fue: evaluar la variación de turbidez y tiempo de sedimentación mediante el proceso coagulación y floculación, con mucílago de *Opuntia Ficus-Indica* como ayudante del Cloruro de fierro ($FeCl_3$) en efluentes de aguas

municipales, por otro lado, para extraer el mucílago se utilizaron pencas provenientes del distrito de Alto Selva Alegre, provincia de Arequipa. La mezcla rápida y la mezcla lenta se usaron para realizar el proceso de coagulación y floculación, respectivamente. El equipo de prueba de jarras fue programado a 200 rpm por 30 segundos para la mezcla rápida y a 60 rpm por 15 min para la mezcla lenta, la hipótesis fue: el uso de mucílago de *Opuntia ficus-indica* como ayudante del FeCl_3 mejora la eficiencia del proceso de coagulación y floculación en efluentes de aguas municipalidad, los resultados hallados fueron: al utilizar las dosis en un rango de 40 a 520 mg/L de FeCl_3 , se alcanzó una máxima remoción de turbidez de 97.87 % con 360 mg/L de FeCl_3 . Después se realizaron pruebas con 80, 160 y 240 mg/L de FeCl_3 combinando con dosis de 0.5, 1.0, 1.5 ml de mucílago de OFI para cada dosis de FeCl_3 , obteniendo una remoción máxima de 98.85 % de turbidez con 240 mg/L de FeCl_3 , finalmente se encontró un rango de tiempo óptimo de 5 a 15 minutos una vez terminado el proceso de floculación, las conclusiones fueron: La dosis óptima de FeCl_3 con mucílago de OFI fue de 240 mg/L, la cual obtuvo una remoción de turbidez de 98.85 %. Con lo cual se ahorra 120 mg/L de FeCl_3 .

López (2018) realizó la investigación *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*, el objetivo fue: la evaluación de la eficacia de la cactácea *Opuntia ficus-indica* al emplearla como coagulante natural de tipo vegetal para la remoción de la turbiedad que se encuentra presente en las muestras de agua sintética acondicionadas en el laboratorio, y verificar su efecto en la variación de los parámetros fisicoquímicos; para ello se elaboró el coagulante en polvo sacado del cactus *Opuntia ficus-indica*, a fin de lograr determinar los parámetros óptimos tales como (dosis, concentración y pH) del coagulante natural, y evaluar la variación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua (turbidez, color, pH y conductividad) al utilizar el coagulante natural y comparándolo con el coagulante químico sulfato de aluminio, la hipótesis fue: la eficiencia de la remoción del coagulante natural será mayor al 50%, los resultados hallados fueron: según los resultados el menor valor de turbidez residual presenta 20.36 UNT al momento de la aplicación del coagulante natural

en una cantidad de 45 mg/L elaborada a partir de una solución del coagulante al 2% y al ser aplicado en muestras de pH 9, este valor es equivalente al 59.27% de remoción turbidez, la validez del coagulante natural en la remoción de turbidez en muestras de 50 UNT es muy próximo al 60%, las conclusiones fueron las siguientes: las dosis óptimas del coagulante natural se encuentra en el rango de 30 y 90 mg/L, por lo que se ve evidenciado de que no se necesitan grandes dosis del coagulante en polvo para el eficaz tratamiento del agua, ya que estas dosis no lograron superar los 100mg de coagulante por litro de agua tratada.

Vargas (2018) elaboró la investigación *Comparación de la capacidad coagulante del opuntia ficus indica de tres departamentos para el tratamiento de aguas del río Chillón-AAHH Santa Cruz del norte Lima 2018*, el objetivo principal fue: determinar cuál de las tres *Opuntias Ficus Indica* tiene mayor capacidad coagulante en el tratamiento del agua del río Chillón - AAHH Santa Cruz del Norte, la hipótesis planteada fue: el *Opuntias Ficus Indica* de los tres departamentos son eficientes como coagulante para descontaminar aguas del río Chillón - AAHH Santa Cruz del Norte, los resultados hallados fueron: esta investigación tuvo una duración de 09 meses, en el cual se usó el *Opuntia Ficus Indica* como coagulante-floculante en el tratamiento de las aguas del río Chillón, para realizar esta investigación se usó el equipo de prueba de jarras y el turbidímetro una vez tomada las muestras de agua del río Chillón y obtenido sus valores iniciales, se trabajó con tres pencas de distintas procedencias de Ayacucho, Ancash e Ica, con respecto a los resultados se observó que la penca procedente del departamento de Ancash tuvo un porcentaje de remoción obteniendo un promedio de 94.42% a diferencia de las pencas traídas de Ayacucho con un promedio 92.32% e Ica con un promedio de 91.79% con respecto a la turbidez, las conclusiones fueron las siguientes: a una velocidad de agitación de 40 rpm se obtuvo un mayor porcentaje de reducción de turbidez y color con un promedio de 92.58% y 78.29% respectivamente, usando el *Opuntia Ficus Indica* de los tres departamentos mientras que la menos eficiente fue a una velocidad de 20 rpm con un promedio de 86.48% de turbidez y 38.76% de color.

Torres (2017) realizó la investigación *Análisis del coagulante natural Opuntia ficus con fines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca, Apurímac, 2016*, el objetivo fue: optimizar la eficacia del agua implementando una planta potabilizadora que utilice el coagulante natural de la penca de tuna, la hipótesis fue: no tiene hipótesis la investigación ya que el objetivo de la investigación no tiene proposiciones, los resultados hallados fueron: la dosis óptima obtenida de la combinación sulfato de aluminio tipo A y coagulante natural para una turbiedad de 84 NTU es de 20mg/l de sulfato de aluminio con 5mg/l de *Opuntia ficus-indica*, las conclusiones fueron las siguientes: lo más adecuada para la obtención del coagulante natural de la penca de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) es la baba de nopal que se extrae haciendo reposar trozos de penca de tuna en agua caliente.

Silva (2017) realizó la investigación *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*, el objetivo fue: adquirir rendimientos sumamente altos de extracción del mucilago de la penca de tuna; por medio de la aplicación de un diseño de experimentos, así mismo caracterizarlo químicamente y utilizarlo eficientemente para el proceso de remoción de la turbidez en aguas turbias, la hipótesis fue: hallar la concentración óptima por medio del test de jarras, utilizando un diseño factorial por bloques para obtener una remoción del 50% de la turbidez del agua con el cual se trabajó, los resultados hallados fueron: se lograron resultados favorables para una edad de 1 a 2 años utilizando la acetona como solvente llegando a alcanzar 0.6% de rendimiento en la extracción, en el caso del etanol como solvente el rendimiento de extracción fue 0.4 %, en esta investigación se utilizó el etanol ya que se tuvo una facilidad de disposición de este insumo, las conclusiones fueron las siguientes: las condiciones de extracción del mucilago tienen una relación directa con los carbohidratos presentes en ello promoviendo satisfactoriamente la remoción de turbidez.

Loayza (2017) realizó la investigación *Análisis de la dosificación de coagulantes por efectos de la turbidez en el tratamiento de agua potable de la planta de SEDAM Huancayo*, el objetivo fue: determinar la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio de tipo A en función directa a

la turbidez del agua respecto a la Planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo, la hipótesis fue: la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A es eficiente en función a la turbidez del agua en la planta de tratamiento de agua potable SEDAM Huancayo, los resultados hallados fueron: el exceso o defecto de coagulante influye en la turbidez del agua tratada es por ello que se debe usar dosis de coagulante 30 ppm ya que es óptimo, después de los procesos de coagulación, floculación y filtrado estos tienen valores menores a 5 UNT (Unidades nefelométricas de turbidez) siendo el máximo, de acuerdo a las normas legales, las conclusiones fueron las siguientes: Los ensayos realizados de manera continua en la planta SEDAM de la ciudad de Huancayo evidencian que, mientras más sea la turbidez, más coagulante se debe añadir, según se muestra en la tabla 9; esto se debe a que en turbiedades menores; los sólidos totales en suspensión son pocos y requiere menos coagulante; mientras que en turbiedades mayores se requiere más coagulante para formar flocs.

Jaimes (2016) elaboró la tesis titulada “*Eficiencia del Coagulante Natural Opuntia ficus indica (L.) Miller con un Sistema de Filtración para la Remoción de Parámetros Físicoquímicos y Biológicos en el Agua Residual Doméstica del Centro Urbano Hornillos, 2016*”, el objetivo fue: evaluar la eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica (L.)* en distintos porcentajes de concentración y volumen para la remoción de los parámetros físicoquímicos y biológicos presentes en el agua residuales municipal generadas por el centro urbano de Hornillos, la hipótesis fue: la eficiencia del coagulante natural alcanza elevadas remisiones al trabajar en diferentes concentraciones, los resultados hallados fueron: al evaluar la eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica (L.)* Miller se obtuvo como resultado que el porcentaje de concentración óptimo y el volumen óptimo fue de 80 % con 1 ml de coagulante natural, durante la prueba de jarras se logró una eficiencia de remoción de turbidez del 95 %, para el proceso de prueba de jarras con el sistema de filtro se logró una eficiencia de remoción de turbidez de 99 %, las conclusiones fueron las siguientes: este trabajo se elaboró en 3 fases, la primera se hizo la obtención del coagulante natural *Opuntia Ficus Indica*, seguidamente se determinó el

volumen óptimo del coagulante natural con los distintos porcentajes de concentración en la prueba de jarras y por último se utilizó los porcentajes de volumen óptimo del coagulante para luego ser llevados a la prueba de jarras y el sistema el filtro, logrando las remociones óptimas de 95 % y 99 %, respectivamente.

Villano (2016) realizó la investigación *Comparación de métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variables de cactáceas (Cactáceae)*, el objetivo fue: comparar los métodos de extracción y el rendimiento de espesantes alimenticios de tres tipos de cactáceas, la hipótesis fue: los métodos de extracción tienen una influencia significativa en el rendimiento de la extracción por cada variedad de cactácea a la vez presentan un elevado índice de solubilidad, absorción de agua, densidad aparente y temperatura de gelatinización, los resultados hallados fueron: que mediante la extracción del espesante de la cactácea *Echinopsis pachanoi* (San pedro) con agua y etanol no hay evidencia de una diferencia significativa, por lo que se logra los mismos rendimientos al momento de usar ambos solventes, por el contrario en la variedad *Opuntia ficus-indica* (penca de tuna) existe diferencia significativa del rendimiento de extracción con los solventes utilizados, mientras que para la variedad *Neoraimondia arequipensis* (Ulluquiute) la extracción con agua y etanol reportan similares rendimientos, aunque estas son menores al rendimiento obtenido con la solución NaCl 0.25M, las conclusiones fueron las siguientes: la extracción con etanol tiene mejor rendimiento para las tres variedades de cactáceas y la extracción con acetona no reporta rendimiento ninguno, el mayor rendimiento lo presenta la variedad *Opuntia ficus-indica* (penca de tuna) cuando se extraen con etanol, NaCl al 0.25 M y agua.

Depaz (2015) realizó la investigación *Utilización de la semilla natural moringa oleífera como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz provincia de Huaylas Ancash*, el objetivo fue: realizar la evaluación de la efectividad del extracto de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural, en la planta de potabilización de agua de la ciudad de Caraz, la hipótesis fue: la semilla moringa oleífera en el proceso de coagulación en la planta potabilizadora

de agua de la ciudad de Caraz provincia de Huaylas Ancash, los resultados hallados fueron: el extracto de la semilla moringa oleífera manifestó ser muy eficiente, alcanzando reducir la turbiedad de la muestra en 30 NTU con una tasa de sedimentación óptima de 17 m³/m²/d, esta tasa permite obtener un efluente menor a 2 NTU, según el DS.N°031-2010-SA el límite máximo permisible de turbiedad es de 5 NTU, las conclusiones fueron las siguientes: al momento de usar la moringa alífera como ayudante de coagulación resulta ser muy eficiente, ya que se logró reducir la dosis de sulfato de aluminio de 20 mg/l a 18 mg/l y se obtiene mejoras en la calidad del agua decantada, además existe una mejora en el tiempo óptimo de decantación que es de 24 min del sulfato de aluminio a 21 min.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría de la coagulación

Hernán von Hemholtz en 1879 menciona que la coagulación es el tratamiento más eficaz pero tiene un gasto elevado cuando no está bien realizado, es el método universal que elimina diversos tipos de sustancias al menor costo, en comparación con otros métodos (Cárdenas, 2000).

La coagulación permanece más como un arte que como una ciencia. Las teorías del campo de la química coloidal y mecánica de fluidos no son suficientes para el diseño de proceso de coagulación; se necesitan experimentos y experiencias. Sin embargo, esto no disminuye el valor de aplicar la teoría más válida para el caso práctico. Un entendimiento del aspecto teórico de la coagulación puede ayudar a un Ingeniero a comprender todo este proceso (Marín, 2019).

2.2.2. Teoría del tratamiento del agua potable

Se nombra agua para consumo humano o potable, a todo fluido o agua que puede ser usada y consumida sin ningún tipo de restricción. Este término es aplicado a toda agua que cumpla con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes, ya sean locales o internacionales. En tanto existen distintas opciones tecnológicas para la potabilización de agua. En la región se pueden clasificar en dos grandes bloques: plantas convencionales con tratamiento químico y plantas o

tratamientos no convencionales, que se basan en realizar la filtración del agua por lechos porosos o por filtración en múltiples etapas (Cordero y Ullauri, 2011).

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Proceso de potabilización del agua

2.3.2.1. Captación

La captación se realiza a través de un conjunto de estructuras y dispositivos colocados junto a un medio hídrico que sería una captación de agua bruta, para así trasladar el agua a una estación de tratamiento de agua potable, esta captación puede ser de agua superficial o subterránea (Martínez, 2019).

2.3.2.2. Desbaste

En esta etapa, se quitan los sólidos grandes que están presentes en el agua (botellas, zapatos, ropa, etc.), esto se hace mediante unas rejillas que están en las plantas de tratamiento de aguas (Martínez, 2019).

2.3.2.3. Desarenado y Pre decantación

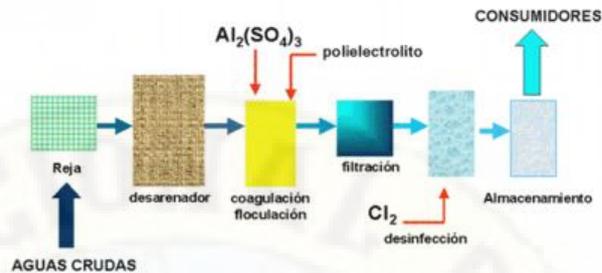
En esta etapa se elimina el arena del agua, así como otras partículas que tengan el peso adecuado para ser decantadas. Esta fase debe hacerse, para evitar que partículas pequeñas, dañen la maquinaria con que se purifica el agua (Martínez, 2019).

2.3.2.4. Coagulación y floculación

Para esta etapa, se agrega en el agua una sustancia para coagular partículas pequeñas que están en el agua, con el fin de ser sedimentadas (Martínez, 2019).

Figura 1

Proceso de coagulación del agua para su potabilización



Fuente: Martínez (2019)

2.3.2.5. Decantación y filtración

En esta fase existe una disminución del agua, con la finalidad de poder sedimentar las partículas sólidas que se formaron en el proceso anterior, entonces estos filtros contienen un tipo de arena especial que cumplen la función principal de retener las partículas más diminutas que están presentes en el agua. Para esta etapa, el agua ya se encuentra clara (Martínez, 2019).

2.3.2.6. Cloración

Lo que se procede en esta etapa es desinfectar, esto se realiza mediante cloro, para asegurar la calidad del agua (Martínez, 2019).

2.3.2.7. Almacenamiento

Después de ser aplicado el cloro, el agua es almacenada para que esté en contacto con el cloro, así la potabilización será más segura (Martínez, 2019).

2.3.2. Parámetros fisicoquímicos del agua

2.3.2.8. Turbiedad

La presencia de materiales en suspensión como: arena, limo, plancton, coloides orgánicos entre otros organismos microscópicos da lugar a la turbidez en el agua. Estas partículas (tienen dimensiones variables, desde 10 mm de diámetros hasta los 0.1 mm) estos se asocian a tres categorías tales como: minerales, partículas orgánicas húmicas (que provienen de la

descomposición y agregación de restos vegetales), y partículas filamentosas (por ejemplo, restos de amiantos u otros filosilicatos). Cuando se trata de aguas residuales (bien domesticas bien industriales) estas presentan altos valores de turbidez motivados por el contenido en diferentes sustancias en suspensión (Marín, 2003).

2.3.2.9. Color

El color del agua se debe principalmente a diferentes sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltos en ella. Respecto a aguas residuales industriales, estas suelen presentar coloración en función de la actividad industrial que desarrolla: fábricas de pasta de papel evacuan aguas parduzcas debido a la lignina; las aguas de mataderos son rojizas por la sangre; las lecherías y derivados lácteos producen aguas blancuzcas (Marín, 2003).

2.3.2.10. Conductividad

La conductividad es producto de los electrolitos que se encuentran disueltos en el agua y presentando valores muy bajos en agua pura. Respecto a los vertidos de aguas residuales, sus valores de pH pueden variar mucho. Así, aguas residuales domesticas exhiben pH algunas décimas inferiores a los del agua potable de procedencia; los vertidos industriales, por el contrario, presentan diferentes valores en función de la actividad industrial que los genera: aguas de minería, industrias metalurgias e industrias químicas suelen tener carácter acido, mientras que las aguas de minas calcáreas o aguas de industrias de bebidas no alcohólicas exhiben carácter básico (Marín, 2003).

Definimos a la conductividad eléctrica como la medida de capacidad del agua para realizar la conducción de la electricidad. La corriente eléctrica es transportada por iones en solución, por lo tanto, al aumentar la concentración de iones provoca el aumento en la conductividad. El valor de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la

concentración de sólidos disueltos totales (SDT) (Delgadillo et al., 2010).

2.3.2.11. pH

El pH se define como la medida que expresa la concentración de iones hidrógenos, $pH = \log\left(\frac{1}{H^+}\right)$. Tiene naturaleza ácida o alcalina de la solución tipo acuosa que pueda afectar a los usos específicos principalmente del agua. La mayoría de los cuerpos de aguas naturales los valores de su Ph se encuentran entre los 6 y 8. Esta medición se facilita con la ayuda de un peachimetro debidamente calibrado, aunque también se puede realizar con papeles especiales que, por coloración, indican el pH. Los valores del pH han de ser referidos a la temperatura de medición pues varían con el mismo. El pH se corrige por naturaleza (Rigola, 1990).

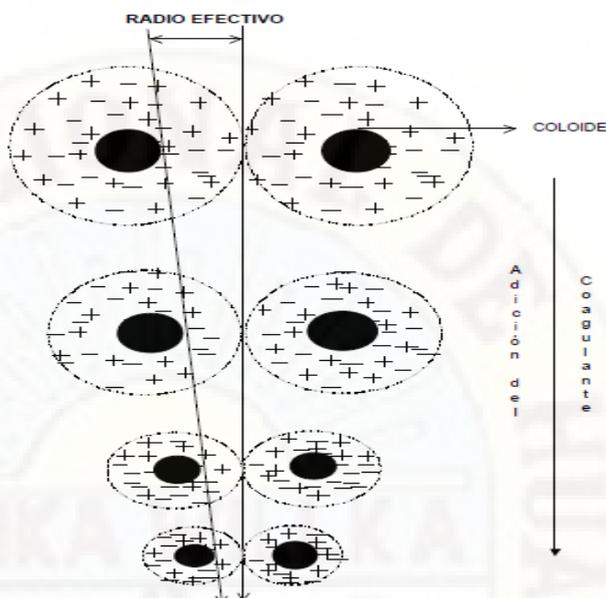
2.3.1.5. Coagulación

Cárdenas define como, el proceso en el cual hay una desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al momento de neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, se da por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Por tanto la coagulación es el tratamiento más eficaz que existe pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado, es el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos (Cárdenas, 2000).

Figura 2

Adición de coagulación.



Fuente: Cárdenas (2000)

2.3.3. Tipos de coagulante

2.3.2.1. Polímeros

El polímero se encuentra formado por una cierta cantidad de unidades básicas, estos tienen la denominación de monómeros, unidas principalmente por un enlace tipo covalentes estos tienen la capacidad de repetirse sucesivamente. El grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica.

La formación de los polímeros va a depender de la naturaleza de los grupos que lo integren. Los monómeros con la capacidad de formar polímeros deben tener por lo menos dos núcleos activos con la finalidad de que la macromolécula pueda conservar su configuración inicial. Cuando las cadenas poliméricas tienen múltiples grupos funcionales activos se denominan polielectrolitos (Valencia, 1992).

- Clasificación

Los polielectrolitos fundamentales para el tratamiento del agua:

Tabla 1

Clasificación de polielectrolitos.

Según su origen	Según su carga	
Polímeros naturales	Iónicos	Catiónicos
Polímeros sintéticos	No iónicos	Aniónicos

Fuente: Valencia (1992).

2.3.2.2. *Polímeros naturales*

Estos polímeros son los encargados de producir las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos), mucho de estos componentes tiene propiedades coagulantes o floculantes y son usados por los nativos en forma empírica para clarificar el agua, como pasa con la penca de la tuna o nopal (Valencia, 1992).

Tabla 2

Polímeros naturales.

Nombre común	Se extrae de	Parte de donde se obtiene
Alginato de sodio	Algas pardas marinas (Phocephiceae)	Toda la planta.
Tuna	<i>Opuntia ficus indica</i>	Las hojas.
Almidones	Maíz Papa Yuca Trigo	El grano o el tubérculo.
Semillas de nirmali	<i>Strychnos potatorun</i>	Las semillas.
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo (<i>Schinopsis lorentzii</i>)	Corteza de árbol.
Gelatina común	Animales	Residuos animales, huesos.
Carboximetil celulosa	Arboles	Corteza de árbol.
Goma de guar	<i>Cyanopsis psorolioides</i>	Las semillas.

Fuente: Valencia (1992)

2.3.2.3. *Polímero sintético*

El cambio químico de los derivados del carbón y petróleo dan como resultados los compuestos orgánicos. Estos Incluyen la gran mayoría de los polímeros manufacturados por la industria y de mayor venta comercial. La mayoría de estos se encuentran en polvo seco. Otros son líquidos con concentraciones del 10% al 60% de polímeros activos (Valencia, 1992).

- Coagulante metálico: cloruro férrico

El cloruro férrico es obtenido de tres formas: como cristales hidratados de color amarillos o café, como cristales anhidros (Fe Cl_3) de color verde oscuro y finalmente como solución del 35 % a 45%.

Cualquiera de estas formas en la que se presente, el cloruro férrico es aplicado en soluciones de 2 al 20%, este va a variar al tamaño de la planta y al aparato dosificador.

El cloruro férrico en algunos casos trabaja con un pH tan bajo como 4 y muy alto como 11. Sin embargo, se suele utilizar con más frecuencia en agua ácida y blanda, fuertemente coloreada y que contiene ácido sulfhídrico.

2.3.4. Factores que influyen en la coagulación

2.3.3.1. *Influencia del pH.*

El pH es una medida del ion hidrógeno en una solución, y es este se representa por:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

Sin duda el pH es la variable más importante que se toma en cuenta al momento de la coagulación, para cada tipo de agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende mucho de la naturaleza de los iones, así como la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; en el caso de que la coagulación se realice fuera del rango de pH óptimo entonces a

este se debe de aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida llega a ser más alta (Cárdenas, 2000).

2.3.3.2. *Influencia de las Sales Disueltas*

Las sales que se encuentra dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre los procesos de coagulación y floculación:

- Existe modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Se modifica la cantidad de coagulante requerido.

2.3.3.3. *Influencia de la Temperatura del Agua*

Cuando existe una variación de 1°C en la temperatura del agua, este conduce a la formación de muchas corrientes de densidad (existe variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan en un alto grado a la energía cinética de las partículas en suspensión, como resultado de esto la coagulación se hace más lenta; y las temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc (Cárdenas, 2000).

2.3.3.4. *Influencia de la Dosis del Coagulante*

La cantidad de coagulante que se usa, tiene una influencia directa con la eficiencia de la coagulación.

- Coagulante en poca cantidad, no logra neutralizar totalmente la carga de la partícula, en tal caso la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es sumamente elevada.
- Cuando la cantidad de coagulante es muy alta se produce una inversión de las cargas de las partículas este soporta la formación de gran cantidad de

microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, entonces la turbiedad residual es sumamente elevada.

- La selección del tipo de coagulante y la cantidad óptima de su aplicación; esto se logra determinar mediante los ensayos de pruebas de jarra (Cárdenas, 2000).

2.3.3.5. *Influencia de Mezcla*

Cárdenas define como; la agitación al momento de la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; en tanto ciertas turbulencias desiguales logran que la porción del agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga muy poco o casi nada; esta agitación debe ser uniforme hasta intensa, con el fin de asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien.

En el proceso de floculación y coagulación, esto se da en dos etapas. En la primera etapa, se produce la mezcla de energética con una corta duración (60 segundos como máximo.) esto es denominado como mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto principal la dispersión de la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua que se requiere tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos (Cárdenas, 2000).

2.3.5. Mecanismos del proceso de coagulación

2.3.4.1. *Compresión de capa difusa*

La desestabilización es producto del modelo físico de doble capa que se produce en un coloide por un coagulante: la curva de atracción de Van der Waals es fija mientras que la de repulsión eléctrica disminuye si se incrementan en la solución los iones de carga opuesta.

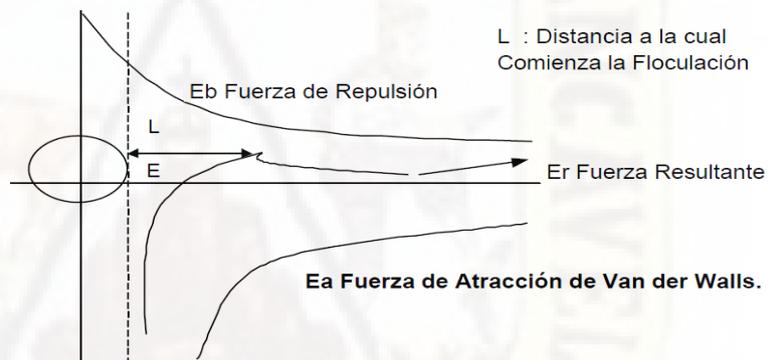
Por lo que, está claro que las partículas se acercan lo suficiente para poder ser desestabilizadas por la energía atractiva de Van der Waals.

La introducción de un electrolito indiferente en un sistema coloidal causa un incremento de la densidad de cargas en la capa difusa y disminución de la “esfera” de influencia de las partículas, y ocurre la coagulación por compresión de la capa difusa (Valencia, 1992).

- La concentración que causa la coagulación es independiente de los coloides presentes en el agua.
- Es imposible producir la reestabilización de partículas con la adición en cantidades superiores de electrolitos ya que este produce una reversión de la carga de las mismas

Figura 3

Fuerzas de atracción y repulsión



Fuente: Vargas (2018)

2.3.4.2. Adsorción y neutralización

Las interacciones entre coagulante–solvente, coagulante–coloide, y finalmente coloide–solvente se da debido a la desestabilización de los coloides.

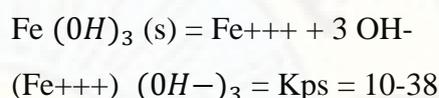
La compresión de la doble capa se da por medio del efecto de adsorción y neutralización.

Un ejemplo de desestabilización por medio de la adsorción y neutralización de la carga es la coagulación del yoduro de plata con carga negativa por medio de iones orgánicos de dodecilamonio ($C_{12}H_{25}NH_3^+$) (Barrenechea, 2004).

Captura en un precipitado de hidróxido metálico o captura por barrido

Cuando existe evidencia de que la dosis de un coagulante de sales metálicas en solución tales como el $Al_2(so_4)_3$ y $Fecl_3$ excede el producto de solubilidad de sus hidróxidos metálicos como el $Al(OH)_3$ y el $Fe(OH)_3$.

- Para este caso se toma como ejemplo la sal de hierro, el producto de solubilidad del hidróxido férrico se logra expresar de la siguiente forma:



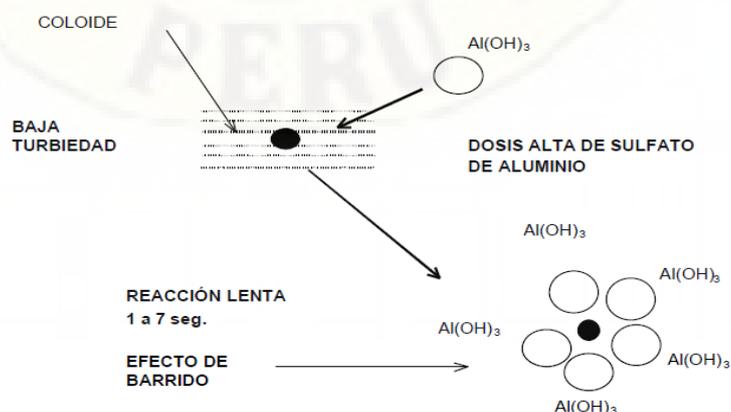
Donde:

- (Fe^{+++}) y (OH^-) = concentración molar de iones hidróxidos y férricos en solución,
- Kps = producto de solubilidad de $Fe(OH)_3$ (s) amorfo.

El mecanismo de barrido, definido por Stumm y O'Melia como sweep coagulation, es ampliamente utilizado en las estaciones de tratamiento donde la floculación y la sedimentación anteceden a la filtración, pues los flóculos resultantes son de mayor tamaño y presentan velocidades de sedimentación relativamente altas (Valencia, 1992).

Figura 4

Coagulación por barrido



Fuente: Cárdenas (2000)

2.3.4.3. Adsorción y formación del puente

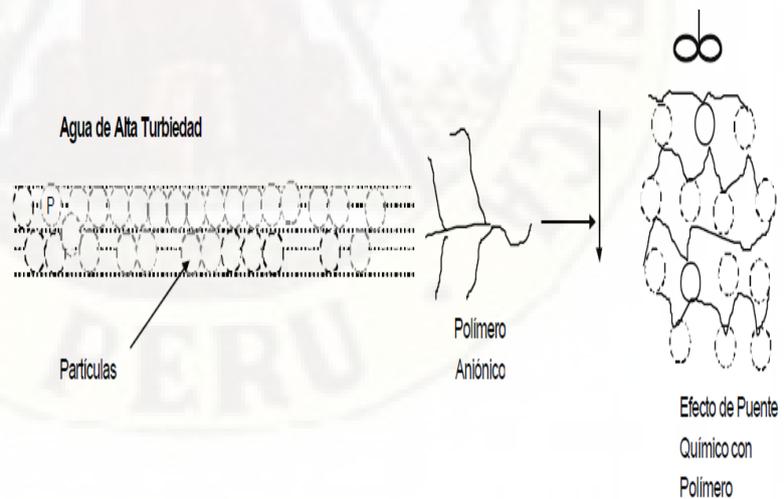
La coagulación puede realizarse también usando una variedad significativa de compuestos orgánicos sintéticos y naturales caracterizados por grandes cadenas moleculares, que gozan de la propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de la cadena y de actuar como coagulantes (Valencia, 1992).

Estos polímeros se clasifican en:

- Catiónicos: presentan sitios ionizables positivos
Ejemplo: polidialil-dimetil amonio
 $[(CH_2 = CH - CH_2)_2 (CH_3)_2 N^+]_n$
- Aniónicos: presentan sitios ionizables negativos
Ejemplo: ácido poliacrílico
 $[CH_2 = CH - COO^-]_n$
- No iónicos: no presentan sitios ionizables
Ejemplo: poliacrilamida
 $[-CH_2 - CH - CONH_2]_n$

Figura 5

Efecto de puente de las partículas en suspensión.



Fuente: Cárdenas (2000)

2.3.6. Floculación

La floculación se produce después del proceso de coagulación, esto reside en la agitación de las masas permitiendo el crecimiento y aglomeración de los flóculos cuya finalidad es aumentar el tamaño de las partículas, aumentando su peso para finalmente poder sedimentarse.

Estos flóculos inicialmente tiene un tamaño pequeño, crean aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables (Cárdenas, 2000).

2.3.5.1. *Parámetros de floculante*

Algunos de los parámetros que caracterizan la floculación son:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada mecánica o hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microflóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floc.
- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

2.3.5.2. *Tipos de mecanismos de floculación*

a) **Floculación pericinéctica o browniana**

Esta es producido por el movimiento natural de las moléculas que se encuentran en el agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano (Cárdenas, 2000).

b) **Floculación ortocinéctica o gradiente de velocidades**

Cuando la energía del exterior ingresa a la masa de agua inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica luego se produce la floculación ortocinetica (Cárdenas, 2000).

c) Sedimentación diferencial

Esto se debe principalmente a las partículas grandes, que al momento de precipitarse colisionan con las más pequeñas y van descendiendo lentamente llegando a aglomerarse.

2.3.7. Opuntia ficus-indica

2.3.6.1. Clasificación científica

- Reino: *Plantae*
- Orden: *Caryophyllales*
- División: *Magnoliophyta*
- Familia: *Cactaceae*
- Subfamilia: *Opuntioideae*
- Clase: *Magnoliopsida*
- Género: *Opuntia*
- Especie: *ficus-indica*
- Nombre binomial: *O. ficus-indica*

A. Origen

Según Sáenz (2006) los nopales tiene origen en américa, hoy se encuentran en condiciones agroclimáticas muy variadas, cultivadas o de forma silvestre, llegando al continente americano. Además, estos se encuentran en forma silvestre en África, Europa, Asia, y Oceanía. Los nopales pertenecen a la familia Cactaceae. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidia, se

reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos (Sáenz, 2006).

Diversos autores señalan que existe cambios en la taxonomía de los nopales de la familia Cactaceae. En esta publicación se sigue la clasificación propuesta por GRIN, es decir la consideración de los nopales bajo el género *Opuntia*.

- **La distribución actual de los nopales en el mundo**

Esta se cultiva principalmente al sur de España y gran parte del mediterráneo: desde Francia hasta Israel. Siendo los árabes los que llevaron desde España a África y desde Argelia, hasta Marruecos y Túnez. Esta distribución se dio en mayor porcentaje en América donde se encuentra desde Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe. En estos países, se encuentra parte de las más de 5 000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta (Sáenz, 2006).

Figura 6

Distribución de Opuntia Ficus-Indica en el mundo.



Fuente: Sáenz (2006)

B. Descripción Morfológicas

- **El tallo**

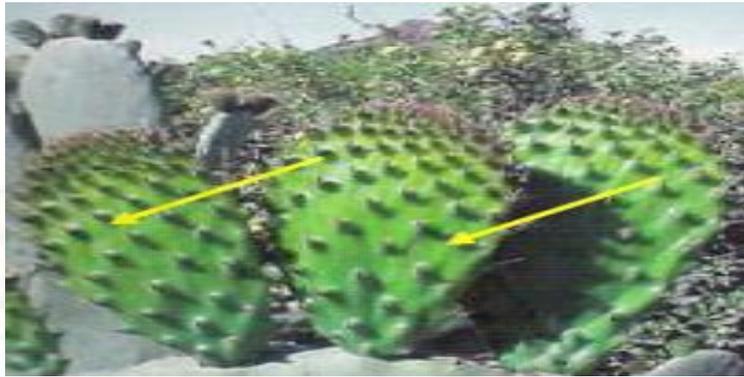
La tuna es un tipo de vegetal que tiene una altura de 3 a 5m, con un tronco que mide entre 20 a 50 cm de diámetro. En el Perú existen variedades que alcanzan portes de 1,5 a 2,00m de altura. El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (Gerencia regional Agraria, 2009).

- **Cladodios**

Estas pencas llegan a un tamaño de 30 a 60 cm. de largo 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde, areolas con espinas de color amarillas. Estas estructuras tienen la función de transformar la luz en energía química a través del proceso llamado fotosíntesis y están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, los mismos que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso. Las pencas y tallos tienen espinas. El sistema radicular es profundo; no obstante, dependiendo de la humedad ambiental, pueden desarrollar raíces laterales superficiales (Gerencia regional Agraria, 2009).

Figura 7

Cladodios tiernos mostrando las hojas caducas.



Fuente: Sáenz (2006)

Figura 8

Cladodios con sus areolas y espinas.



Fuente: Sáenz (2006)

- **Hojas**

Mayormente poseen los cladodios internos, estos se transforman en espinas que tienen una forma de garra, engrosadas en toda su base, que cumplen la función de defensa; las caducas sólo se ven encima de los tallos. En el momento que se produce la renovación de pencas, de las aréolas salen las espinas, estas miden de 4 a 5 mm de longitud. Las hojas desaparecen completamente cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas (Gerencia regional Agraria, 2009).

- **Flores**

Estas se encuentran encima de la penca, tienen una longitud de 6 a 7 cm. Cada aréola produce como mínimo una flor, estas en diferentes épocas de floración, unas llegan a brotar el primer año, las otras el segundo y tercero. Las flores se abren a los 35 a 40 días de su brotación. Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa. Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco (Gerencia regional Agraria, 2009).

Figura 9

Flores jóvenes de Opuntia ficus-indica.



Fuente: Sáenz (2006)

Figura 10

Diversidad de tonalidades y colores de las flores de tuna.



Fuente: Sáenz (2006)

- **Fruto**

Es una baya polisperma de forma ovoide esférica de color verde y toma diferentes colores cuando maduran, son comestibles, agradables y dulces; la pulpa es gelatinosa conteniendo numerosas semillas, sus dimensiones y coloración varían según la especie; presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud (Sáenz, 2006).

Figura 11

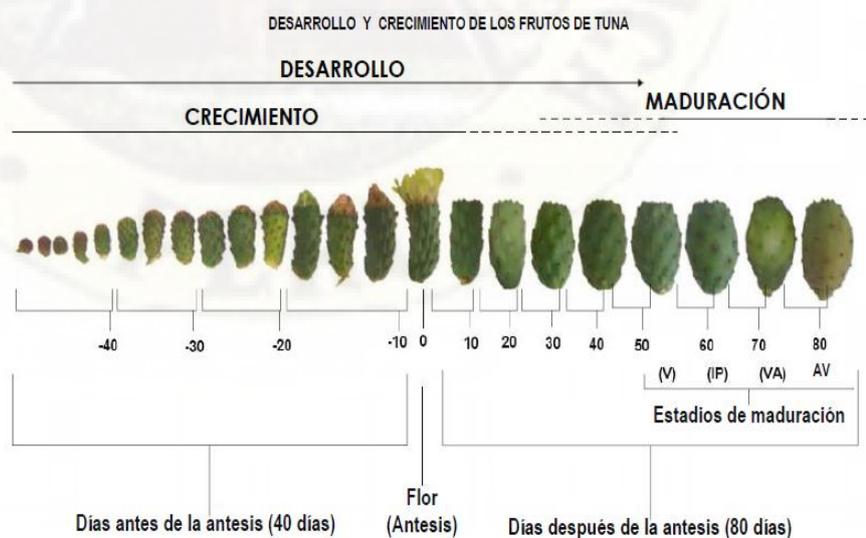
Diversidad de formas y colores de los frutos de tuna.



Fuente: Sáenz (2006)

Figura 12

Evolución del desarrollo y maduración de frutos de tuna.



Fuente: Sáenz (2006)

2.4. Definición de términos

- **Aglomeración:** Reunión o amontonamiento y desordenado de algo, partículas (Cárdenas, 2000).
- **Agua potable:** El cuerpo de agua cuyas características principales como las químicas, físicas o microbiológicas siendo tratadas garantizando su aptitud (Grekin, 2010).
- **Coagulación:** Acto y el resultado de coagular, lo que ocurre cuando un líquido, se espesa o se solidifica (Ojeda, 2015).
- **Coagulante:** Sustancia química o natural que, añadida al agua, produce la unión de las partículas en suspensión presentes en ella (Ojeda, 2015).
- **Coloides:** Sustancia que, al encontrarse en un líquido, se dispersa poco a poco (Weber, 2021).
- **Conductividad:** Propiedad física con la capacidad de transmitir electricidad o el calor (Roldan, 2003).
- **Covalente:** Enlace que es generado en átomos que tienen un par compartido de electrones (Rigola, 1990).
- **Dosificador:** Es un aparato que tiene como finalidad suministrar cantidades determinadas de un producto o sustancia (Rigola, 1990).
- **Floculación:** En este proceso se da la adición de sustancias denominadas floculantes, donde se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado (Trapote, 2013).
- **Floculante:** Sustancia química o natural que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación (Trapote, 2013).
- **Monómero:** Molécula simple, de molecular bajo, que forma cadenas lineales de dos, tres o más unidades (Rigola, 1990).
- **Polielectrolitos:** Los polímeros cuyas unidades de repetición soportan un grupo electrolito (Díaz, 2018).
- **Polímero:** Son las macromoléculas que se encuentran compuestas por una o varias unidades químicas (monómeros) que se repiten a lo largo de toda una cadena (Díaz, 2018).
- **Turbidez:** Mide la no transparencia del agua debido a la presencia de materia orgánica o partículas coloidales suspendida en ello (Lapeña, 2016).

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

- El efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante alcanza una efectividad de remoción mayor al 60 % en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.

2.5.2. Hipótesis específica

- La dosis óptima utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante remueve más del 60 % de partículas coloidales en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.
- El tiempo de floculación óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante es de 15 minutos en el proceso de potabilización del agua Huancavelica-2019.

2.6. Variables

2.6.1. Variables dependientes

Remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* (penca de tuna) como ayudante.

2.6.2. Variables independientes

Dosis y tiempo de floculación del coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante.

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de las variables (dependientes e independientes del proyecto).

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad de medida	Escala de medida	Instrumento
Independiente Dosis y tiempo de floculación del coagulante natural de <i>Opuntia ficus-indica</i> (penca de tuna) como ayudante.	La coagulación, en el campo del tratamiento de aguas, es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas, (Degrémont, 1979). La floculación, consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad, (Andia, 2000).	Al momento de realizar el proceso de coagulación y floculación, se preparó las muestras de sulfato de aluminio y mucilago, independientemente; pesando 10 g de cada muestra se agregó agua destilada hasta completar 100 ml, luego se tomó 20 ml de la solución y se volvió a diluir con agua destilada hasta completar 100 ml obteniendo la concentración de 2% con lo que se dosifico a los 6 vasos en dosis diferentes que varía de 40 a 65 mg/l, con la dosis constante de 3 mg/l y 5 mg/l de mucilago. Se realizó 60 pruebas de jarras por cada dosis de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) como ayudante, haciendo un total de 120 pruebas. Con una mezcla rápida de 300 rpm en 5 segundos, tiempo de floculación de 5 a 30 minutos y sedimentación de 10 minutos, donde se determinó la dosis y tiempo óptimo.	Dosis del sulfato de aluminio más el mucilago de la penca de tuna en 100 ml de agua destilada.	43 45 48 50 53 55 58 60 63 65 68 70	mg/L	Razón	Balanza analítica
			Tiempo de floculación.	5 10 15 20 25 30			
Dependiente Remoción de partículas coloidales utilizando <i>Opuntia ficus-indica</i> (penca de tuna) como ayudante.	Efectividad de la remoción de las partículas coloidales aplicando el coagulante natural (<i>Opuntia Ficus-indica</i>) como ayudante del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación – floculación de la planta potabilización de agua Huancavelica.	Para obtener la remoción óptima y tiempo, se realizó 10 repeticiones por cada tiempo. La dosis del sulfato de aluminio fue variable con respecto a la dosis del ayudante que fue constante con 3 ppm y 5 ppm, utilizando el Test de jarras. Con una cantidad de 1440 litros de agua obtenida de la cámara de reparto (vertiente Ichu) ubicado en la PTAP EMAPA Huancavelica. Se realizó la medición de los parámetros físicos antes y después del tratamiento, la medición de la remoción de partículas se hizo midiendo la turbidez inicial y final, con ayuda del turbidímetro.		Turbidez	NTU	Razón	Turbidímetro
				pH		Ordinal	Multiparámetro
			Parámetros de control	Conductividad eléctrica	μS/cm	Razón	Multiparámetro
				Temperatura	°C	Razón	Multiparámetro

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

El trabajo de investigación se realizó en el año 2020 al 2021 durante los meses de diciembre del 2020 hasta abril del 2021.

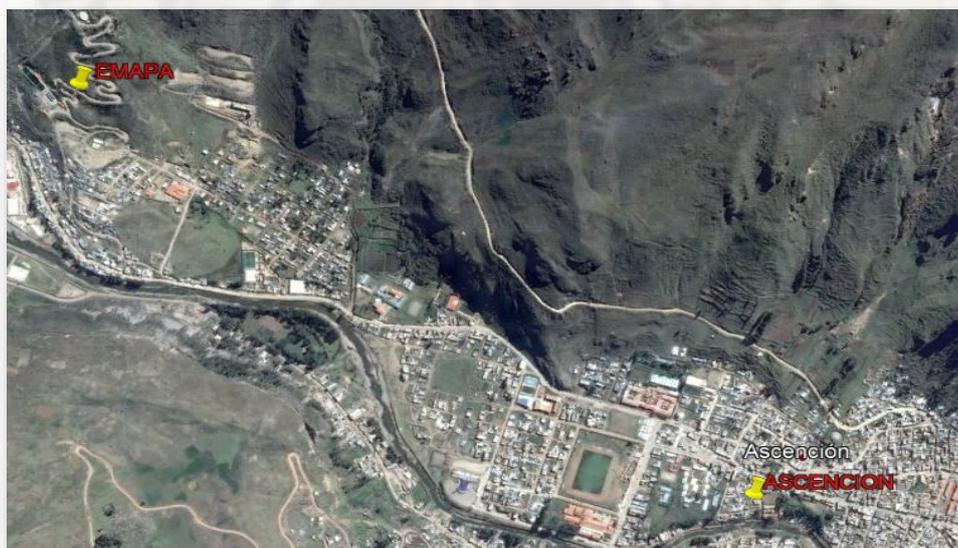
3.1.2. Ámbito espacial

Ubicación política:

- Departamento/Región: Huancavelica.
- Provincia: Huancavelica.
- Distrito: Ascensión.
- Ubicación geográfica
- Coordenadas: UTM WGS-84
- Norte: 8587937.95 m
- Este: 500048.79 m

Figura 13

Ubicación de EMAPA Huancavelica (Huancavelica – Ascensión).



Fuente: Google Earth.

3.2. Tipo de investigación

Investigación aplicada: Constituye una relación importante entre la ciencia y la sociedad. Gracias a ello los entendimientos regresan a las áreas de demanda, ubicadas en el mismo contexto, donde se da la situación en la que se intervendrá, ya sea perfeccionada. A falta de esta clase de investigaciones se separa el conocimiento científico de los contextos donde interviene. La investigación como actividad científica resulta ser densa y compleja, propia de personas especializadas; no obstante, para personas noveles en este que hacer o aquellas que cursan Maestrías Profesionales, por sus características, la investigación aplicada constituye una forma ágil y placentera de resolver situaciones o problema de interés propio del ámbito disciplinar y profesional (Vargas, 2009).

3.3. Nivel de investigación

Investigación explicativa: Tiene por finalidad buscar el porqué de los hechos por medio de la relación causa – efecto. Es por ello que, los estudios explicativos pueden ocuparse de la determinación de las causas (referente a la investigación post factor), así como de los efectos (referente a la investigación experimental), mediante la conocida prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimiento (Arias, 2012).

3.4. Método de investigación

El objetivo es observar los hechos permitiendo encontrar las leyes que los rigen. De esta manera el método tiene una esencial sencillez, para la aplicación de este se requiere formas más complicadas y llegar a establecer una ley científica se establecen tres pasos:

- 1) proponer hipótesis que, si son verdaderas, expliquen aquellos hechos;
- 2) observar los hechos significativos, que pueden ser los menos relevantes.
- 4) proponer hipótesis que, si son verdaderas, expliquen aquellos hechos; deducir de estas hipótesis consecuencias que puedan ser verificadas o refutadas por la observación. Si las consecuencias son verificadas se acepta provisionalmente la hipótesis como verdadera (Bertrand, 1982).

3.5. Diseño de investigación

En síntesis, la investigación que se realizó es del tipo experimental dentro de esta tipología que para algunos autores como el caso de (Sampieri et al., 2014) quienes dividen los diseños experimentales en tres clases: pre experimentales, experimentales puros y cuasiexperimentos.

Teniendo como antecedentes o referencias esta clasificación, nuestro presente trabajo de investigación se encuadro dentro del diseño preexperimental, con preprueba – posprueba, el mismo se efectuó con el uso de un modelo piloto, en la que a un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo (tratamiento experimental), después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo, según el siguiente modelo:

G 01 X 02

En el que G representa el grupo de muestra de efluente de la PTAP EMAPA-Huancavelica; (01), es el valor referencial inicial del indicador (variable dependiente), antes del estímulo o tratamiento a través del coagulante (*Opuntia ficus-indica*, como ayudante del sulfato de aluminio) X (la variable independiente), y posteriormente (02) el nivel que alcanzó luego del tratamiento, según los siguientes autores (Sampieri et al., 2014).

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

La población de la presente investigación fue el agua captada por la planta de tratamiento Ichu (EMAPA-Huancavelica), el cual tiene una capacidad de entrada de 50 l/s.

Figura 14

Vista panorámica de EMAPA Huancavelica (Ascensión).



Fuente: Google Earth

3.6.2. Muestra

El agua que fue necesario, representó un volumen de 12 litros por prueba, la cantidad de litros se determinaron debido a que el Test de jarras trabaja con 6 vasos de precipitado y cada una tiene una capacidad de 2 litros, se realizó 120 pruebas haciendo un total 1440 litros de muestra de agua que se utilizó en el proyecto, la muestra se tomó de la planta de tratamiento Ichu (EMAPA-Huancavelica) y se realizó la recolección de información en el laboratorio de EMAPA-Huancavelica (planta de tratamiento Millpo).

3.6.3. Muestreo

No probabilístico; el agua de la planta potabilizadora EMAPA-Huancavelica se tomó antes que ingrese a la unidad de desarenador

(cámara de reparto), lo necesario por prueba, por lo cual, en una prueba se utilizó 12 litros de la muestra (agua cruda de la PTAP EMAPA-Huancavelica).

3.7. Instrumentos y técnicas para recolección de datos

Se empleó la técnica de la observación realizándose un análisis físico del efluente de la PTAP EMAPA-Huancavelica de acuerdo con el protocolo de análisis de laboratorio de los parámetros seleccionados.

3.7.1. Técnicas para las pruebas Experimentales

Para demostrar la hipótesis planteada se hizo uso, del mucilago de *Opuntia ficus-indica* (Penca de tuna) en dosis de 3 y 5 mg/L que actuó como ayudante del sulfato de aluminio, este último con dosis de 40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L. Se hizo uso de la Test de jarras, utilizando la muestra ya especificada, se realizó esta prueba para obtener resultados favorables en la remoción de las partículas coloidales del agua de la PTAP EMAPA-Huancavelica.

La presente investigación experimental, buscó comprobar la hipótesis planteada, es decir, recolectar datos que se generen antes y después, para demostrar la eficiencia de remoción de partículas coloidales del agua de la PTAP EMAPA-Huancavelica.

Tabla 4*Descripción detallada del procedimiento de recolección de datos.*

Extracción del mucilago de <i>Opuntia ficus indica</i> (Penca de tuna)	Se realizó la recolección, limpieza, picado, se llevó a la mufla por 48 horas a 70 grados Celsius, se machacó, finalmente se almaceno en un recipiente el mucilago en polvo.														
Aplicación de las dosis y tiempo de floculación.	<p>Dosis y tiempo:</p> <ul style="list-style-type: none"> Dosis de coagulante (<i>Opuntia ficus-indica</i>); se utilizó 2 dosis, las cuales fueron 3 y 5 mg/L. Para el sulfato de aluminio se usaron las siguientes dosis; 40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L. Se realizó 60 pruebas por cada ayudante(3 y 5 mg/L), haciendo un total de 120 pruebas. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Penca de tuna 3 mg/L</th> <th>Penca de tuna 5 mg/L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1= 43 mg/L</td> <td>P1= 45 mg/L</td> </tr> <tr> <td>P2= 48 mg/L</td> <td>P2= 50 mg/L</td> </tr> <tr> <td>P3= 53 mg/L</td> <td>P3= 55 mg/L</td> </tr> <tr> <td>P4= 58 mg/L</td> <td>P4= 60 mg/L</td> </tr> <tr> <td>P5= 63 mg/L</td> <td>P5= 65 mg/L</td> </tr> <tr> <td>P6= 68 mg/L</td> <td>P6= 70 mg/L</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> Tiempo <ul style="list-style-type: none"> T1=5 T2=10 T3=15 T4=20 T3=25 T4=30 	Penca de tuna 3 mg/L	Penca de tuna 5 mg/L	P1= 43 mg/L	P1= 45 mg/L	P2= 48 mg/L	P2= 50 mg/L	P3= 53 mg/L	P3= 55 mg/L	P4= 58 mg/L	P4= 60 mg/L	P5= 63 mg/L	P5= 65 mg/L	P6= 68 mg/L	P6= 70 mg/L
Penca de tuna 3 mg/L	Penca de tuna 5 mg/L														
P1= 43 mg/L	P1= 45 mg/L														
P2= 48 mg/L	P2= 50 mg/L														
P3= 53 mg/L	P3= 55 mg/L														
P4= 58 mg/L	P4= 60 mg/L														
P5= 63 mg/L	P5= 65 mg/L														
P6= 68 mg/L	P6= 70 mg/L														
Uso del Test de jarras.	Pruebas: Es la más usada para determinar el comportamiento del coagulante y simulando el proceso de coagulación y floculación en una planta de tratamiento; asimismo, facilitó encontrar la dosis y tiempo óptimo, por otro lado, simula también la velocidad de mezclado, con ayuda de este se logró determinar la dosis y tiempo óptimo requerido para tratar el agua (reducir los niveles de turbidez).														
Recolección de datos obtenidos en laboratorio.	Los datos fueron procesados en las hojas de cálculo de Excel, asimismo se usó el software SAS y modelos matemáticos ANAVA, Tukey.														

Con la finalidad de efectuar las pruebas experimentales necesarias para demostrar la hipótesis planteada, se utilizó el mucilago de *Opuntia ficus indica* (Penca de tuna) como un ayudante del sulfato de aluminio a una concentración del 2%, luego se usó el Test de jarras, con las nuestras ya mencionadas anteriormente, se encontró resultados favorables de dosis y

tiempo óptimo, con el análisis de los indicadores los cuales son: dosis, tiempo, turbidez, pH, conductividad eléctrica y temperatura.

3.7.2. Instrumentos para la recolección de datos

Se usaron los siguientes instrumentos.

- **Multiparámetro:** Este equipo de medición es uno de los más utilizados en campo, al momento de realizar el monitoreo de la calidad de agua, logra medir principalmente los parámetros físicos y químicos como: el pH, Temperatura, Conductividad eléctrica y temperatura. Para esta investigación se hizo uso del Multiparametro HQ40D.

Figura 15

Multiparámetro usado en el trabajo de investigación



- **Turbidímetro:** Para la medición de este parámetro se hizo uso del Turbidímetro portátil 2100Q IS ofrece una gran facilidad de uso y exactitud en la medición de la turbidez, ofreciendo resultados sumamente exactos en todo momento.

Figura 16

Turbidímetro usado en la investigación



- **Equipo para pruebas de jarras:** Este equipo se utilizó con el fin de determinar las dosis e insumos óptimos.

Figura 17

Equipo de Test de Jarra



3.7.3. Ficha de recolección de datos

En esta ficha se debe recolectar y registrar los datos obtenidos. Es una técnica auxiliar, consiste en registrar los datos que se van obteniendo de una manera ordenada, contienen gran parte de la información que se logra recopilar en una investigación por lo cual constituye un valioso auxiliar en esa tarea, al ahorra mucho tiempo.

3.7.4. Procedimiento de recolección de datos

Según Hernández et al., (2010) recoger los datos involucra elaborar un plan sumamente detallado siguiendo algunos pasos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico.

1. Recolección de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*)

Se hizo la selección y recolección de las pencas de tuna en el distrito de Izcuchaca - Huancavelica.

Figura 18

*Ubicación de la zona de recolección de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*)*



2. Limpieza de espinas e impurezas

Una vez recolectado las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*), se procedió a hacer la limpieza de las impurezas y espinas para una mejor manipulación.

Figura 19

*Limpieza de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) seleccionadas*

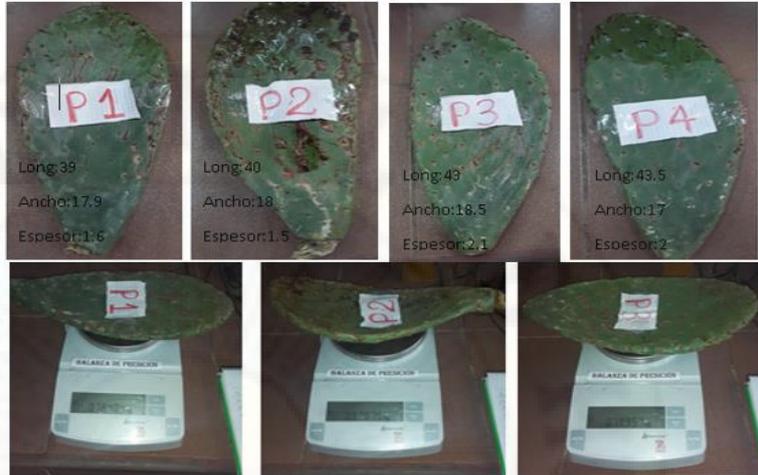


3. Rotulado, Pesaje y Medición de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*).

Seguidamente se hizo el rotulado, el pesaje y medición de la altura, ancho y espesor de cada una de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*), cabe recalcar que en el pesaje se considera la cascara.

Figura 20

Rotulado, pesaje y rotulación de las pencas de tuna previamente seleccionadas



4. Pelado y Picado de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*).

Este proceso se hizo manualmente con la ayuda de un bisturí retirando la capa gruesa que cubre toda la pulpa, seguidamente se procedió a picar la penca en pequeños trozos en formas cubicas para facilitar su manipulación.

Figura 21

*Pelado y picado de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*)*



5. Llenado de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) a las placas Petri.

Se hizo el llenado de las pencas de tuna previamente cortadas en trozos pequeños en las placas Petri en una cantidad de 40 muestras, para su posterior ingreso a la Mufla.

Figura 22

*Llenado de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) en las placas Petri*



6. Deshidratación de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) en la Mufla.

Se procedió a ingresar las 40 muestras de las placas Petri a la mufla y a una temperatura de 70 °C.

Figura 23

*Ingreso de las placas Petri con las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) a la mufla*



7. Trituración y Tamizado de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) previamente deshidratadas.

Después de sacar de la mufla las muestras de penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) deshidratadas se tiene la necesidad de triturar con la ayuda de un mortero, una vez que terminado este proceso se hizo el tamizado para eliminar las partículas de mayor tamaño para quedarnos con las partículas más finas y obtener finalmente la harina de penca de tuna.

Figura 24

*Trituración y tamizado de las pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) deshidratadas*



8. Recolección de las muestras de agua de la captación Ichu

Se recolectaron las muestras (12 litros) de agua por prueba de la captación Ichu ubicado en la PTAP-Huancavelica con la ayuda un balde de 20 litros de capacidad.

Figura 25

Recolección de muestras de agua de la captación Ichu - Huancavelica



9. Preparación de las muestras madre para el Sulfato de Aluminio y Penca de tuna (*Opuntia ficus indica*).

Para el preparado de las muestras de sulfato de aluminio y mucilago de penca de tuna, independientemente; se realizó el pesando de 10 g de cada muestra se agregó agua destilada hasta completar 100 ml, luego se tomó 20 ml de la solución madre y se volvió a diluir con agua destilada hasta enrazar 100 ml obteniendo la concentración de 2% con la ayuda de la fiola.

Figura 26

Elaboración de las muestras madre de sulfato de aluminio y penca de tuna



10. Medición de los parámetros iniciales

Una vez trasladado la muestra de agua al laboratorio, con un tubo se agito el agua cruda contenida en el balde, por un tiempo de 3 minutos aproximadamente, posterior a ello se realizó la medición de los parámetros iniciales de control que se mencionan anteriormente en la presente investigación.

Figura 27

Agitación de la muestra de agua y su medición de parámetros iniciales

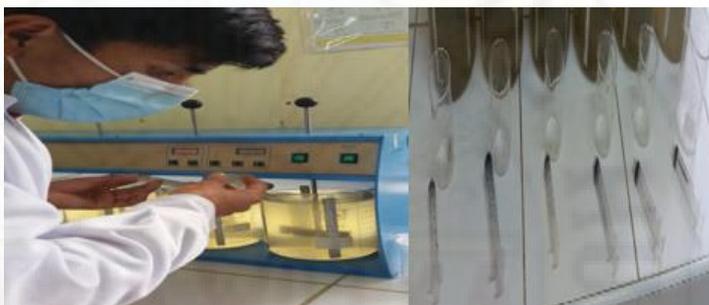


11. Dosificado de las jarras con las 06 dosis

Para el dosificado de las jarras, se utilizó el sulfato de aluminio y la penca de tuna (*Opuntia ficus indica*), para el caso del sulfato, las dosis fueron variables, siendo 40, 45, 50, 55, 60, 65 mg/L, con una dosis constante de 3 mg/L y 5 mg/L de penca de tuna.

Figura 28

Dosificado en el equipo de test de jarras



12. Determinación de la dosis óptima

En esta etapa se halló la dosis y tiempo óptima con ayuda del equipo de Test de jarras, las 120 pruebas se iniciaron a una revolución de 300 rpm por 05 segundos, luego se disminuyó la velocidad a 30 rpm por (5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos), finalmente se sedimentó las muestras durante 10 minutos para su posterior análisis de los parámetros.

Figura 29

Ejecución del equipo test de jarras



3.8. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Los datos recolectados de las diversas dosis con respecto a los tiempos de floculación del coagulante químico (sulfato de aluminio) y coagulante natural (mucilago de la penca de tuna) como ayudante este último; fueron procesados en hojas de cálculos como el Microsoft Excel 2013, ya que este programa nos permite realizar el análisis de la información de una manera más sencilla y ordenada.

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 con ello se obtuvo los parámetros descritos de las medias tendencia central y dispersión así como los gráficos de los parámetros que se tiene por analizar, la contrastación de hipótesis se analizó con el estadístico F de Fisher para el análisis de varianzas ANAVA con una significancia del 5% (0.05), finalmente se utilizó la prueba de Tukey.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

Los resultados obtenidos a escala de laboratorio mediante el equipo de Test de jarras, para determinar la eficiencia de la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua, se determinó los parámetros físicos como la turbiedad, la conductividad, pH y la temperatura antes y después del tratamiento.

Para hallar la eficiencia de la penca de tuna (*Opuntia ficus – indica*) primero se tuvo que obtener la dosis y tiempo óptimo para la remoción de partículas coloidales todo esto obtenido en el laboratorio.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del trabajo de investigación donde se logró determinar la eficiencia de la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante (*opuntia ficus-indica*) como ayudante en el proceso de potabilización de agua de la captación Ichu en la ciudad de Huancavelica para el año 2019.

4.1.1. Efecto de la dosis y tiempo en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* (3 mg/L y 5 mg/L) como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica - 2019.

Tabla 5

*Porcentaje (%) de remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* a 3 mg/L y sulfato de aluminio a 40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L respecto a la dosis y tiempo.*

Dosis (sulfato+penca de tuna) (mg/L)	Tiempo (minutos)					
	5	10	15	20	25	30
	Remoción (Tuckey) %					
43	73.38 ^c	64.94 ^c	85.98 ^b	74.85 ^b	55.68 ^d	58.54 ^c
48	77.05 ^b	60.14 ^d	86.06 ^b	74.16 ^b	71.61 ^b	64.66 ^d
53	67.42 ^d	71.82 ^a	73.35 ^c	69.44 ^c	67.53 ^c	79.89 ^a
58	77.4 ^b	67.92 ^b	89.01 ^a	82.23 ^a	66.74 ^c	70.54 ^b
63	80.05 ^a	67.83 ^b	84.62 ^b	76.67 ^b	74.47 ^a	68.81 ^{bc}
68	74.68 ^c	65.89 ^{bc}	85.17 ^b	80.73 ^a	71.77 ^b	66.57 ^{cd}

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

En la tabla podemos apreciar el efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica*, observamos que en una dosis de 58 mg/L de sulfato de aluminio + penca de tuna (3 mg/L) y un tiempo de 15 min se logró alcanzar un porcentaje de remoción máximo de 89.01 %, así mismo el porcentaje de remoción mínima se dio para una dosis de 43 mg/L con un tiempo de 25 minutos con porcentaje de remoción de 55.68 %.

Tabla 6

Remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica a 5 mg/L y sulfato de aluminio a 40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L respecto a la dosis y tiempo.

Dosis (sulfato+penca de tuna) (mg/L)	Tiempo (minutos)					
	5	10	15	20	25	30
	Remoción (Tuckey) %					
45	66.51 ^b	64.81 ^b	84.23 ^b	71.28 ^{bc}	53.20 ^e	53.58 ^c
50	63.46 ^c	59.15 ^c	83.51 ^b	69.61 ^c	58.10 ^d	63.29 ^b
55	49.91 ^d	69.57 ^a	80.03 ^c	66.81 ^d	58.76 ^d	69.67 ^a
60	67.64 ^{ab}	68.79 ^a	87.32 ^a	76.47 ^a	63.90 ^c	63.05 ^b
65	69.52 ^a	64.82 ^b	82.80 ^b	73.01 ^b	74.20 ^a	67.82 ^a
70	66.18 ^b	64.70 ^b	83.65 ^b	72.73 ^b	72.39 ^b	63.27 ^b

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

Observamos en la tabla el efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* (5 mg/L), estos resultados muestran que para una dosis de 60 mg/L y un tiempo de 15 minutos se obtuvo una remoción máxima efectiva del 87.32 %; por otro lado, la remoción mínima se dio para una dosis de 55 mg/L con un tiempo de 5 minutos logrando alcanzar solo un 49.91 % de remoción de partículas coloidales.

4.1.2. Efecto de la dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

Tabla 7

Dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

Efecto de la dosis utilizando <i>Opuntia ficus-indica</i>					
Ensayo	Jarra N°	Sulfato de aluminio mg/l	Dosis de mucilago Penca de tuna mg/l	Remoción (Tuckey) %	Dosis óptima mg/l
3 mg/l	1	40	3	68.89 ^b	43
	2	45	3	72.28 ^{ab}	48
	3	50	3	71.58 ^{ab}	53
	4	55	3	75.64 ^a	58
	5	60	3	75.40 ^a	63
	6	65	3	74.13 ^a	68
5 mg/l	1	40	5	65.60 ^c	45
	2	45	5	66.18 ^{bc}	50
	3	50	5	65.79 ^c	55
	4	55	5	71.19 ^{ab}	60
	5	60	5	72.03 ^a	65
	6	65	5	70.49 ^{abc}	70

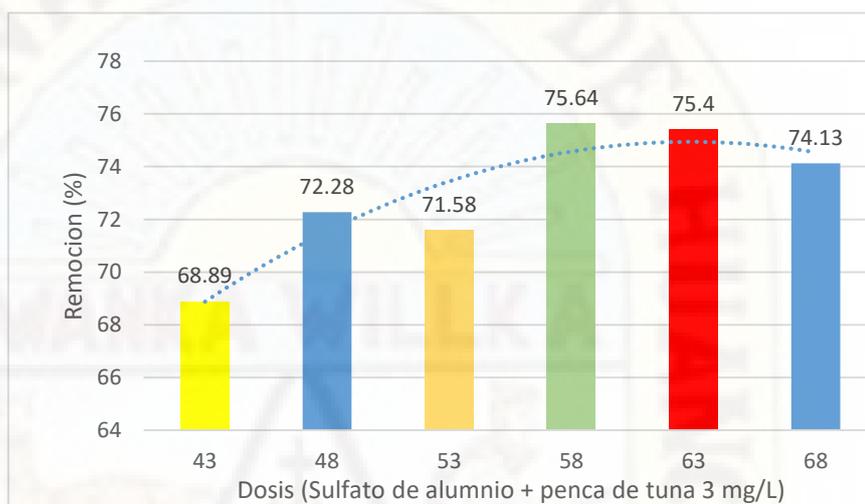
*. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

A partir de la tabla 8 se elaboraron las figuras 30 y 31 en los cuales podemos observar la dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante en el proceso de potabilización de agua.

4.1.3. Figura de dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

Figura 30

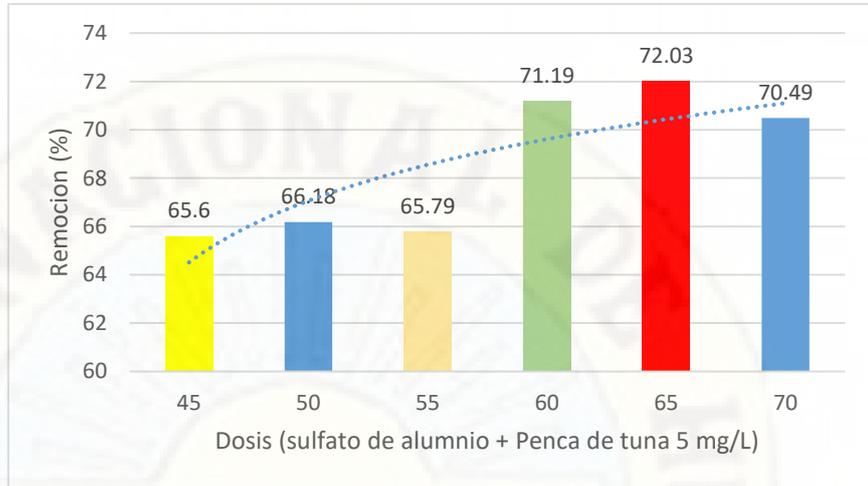
*Dosis óptima y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a una dosis de 3 mg/L de *Opuntia ficus-indica**



De la figura se puede apreciar el comportamiento de la dosis óptima y el porcentaje de remoción usando el sulfato de aluminio en una dosis de 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L, 65 mg/L y la penca de tuna con (*Opuntia ficus-indica*) 3 mg/L, a una concentración del 2 %, todo esto experimentado a nivel de laboratorio. En tanto podemos apreciar que la dosis óptima de sulfato de aluminio + penca de tuna como ayudante fue de 58 mg/L, con una remoción efectiva del 75.64 % con una concentración al 2 %, así mismo se puede apreciar que existe una ligera diferencia del porcentaje de remoción (75.4 %) con una dosis de 63 mg/L; siendo la segunda mejor dosis óptima en este proceso. La dosis que menos efectividad y menor porcentaje de remoción tuvo fue de 43 mg/L con un porcentaje de remoción de 68.89 %,

Figura 31

*Dosis óptima y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a una dosis de 5 mg/L *Opuntia ficus-indica**



Se aprecia el comportamiento de la dosis óptima y el porcentaje de remoción usando el sulfato de aluminio en una dosis de 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L, 65 mg/L y la penca de tuna como ayudante (*Opuntia ficus-indica*) en una dosis de 5 mg/L, a una concentración del 2 %. Se puede apreciar que a partir de una dosis de 60 mg/L el porcentaje de remoción tiende a mantenerse relativamente constante siendo superior al 70 %. Los resultados indican que la dosis óptima de sulfato de aluminio + penca de tuna como ayudante fue de 65 mg/L, obteniendo un porcentaje de remoción de partículas coloidales de 72.03 %, por otro lado, el menor porcentaje de remoción de partículas coloidales, se obtiene en una dosis de 45 mg/L, con un porcentaje de remoción del 65.6 %.

4.1.4. Efecto de tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

Tabla 8

*Tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019*

Efecto de tiempo utilizando <i>Opuntia ficus-indica</i>					
Ensayo	Jarra N°	Sulfato de aluminio mg/L	Dosis de mucilago Penca de tuna mg/L	Remoción (Tuckey) %	Tiempo óptimo (minutos)
3 mg/L	1	40	3	74.99 ^b	5
	2	45	3	66.42 ^c	10
	3	50	3	84.03 ^a	15
	4	55	3	76.34 ^b	20
	5	60	3	67.96 ^c	25
	6	65	3	68.18 ^c	30
5 mg/L	1	40	5	63.87 ^c	5
	2	45	5	65.30 ^c	10
	3	50	5	83.58 ^a	15
	4	55	5	71.64 ^b	20
	5	60	5	63.42 ^c	25
	6	65	5	63.42 ^c	30

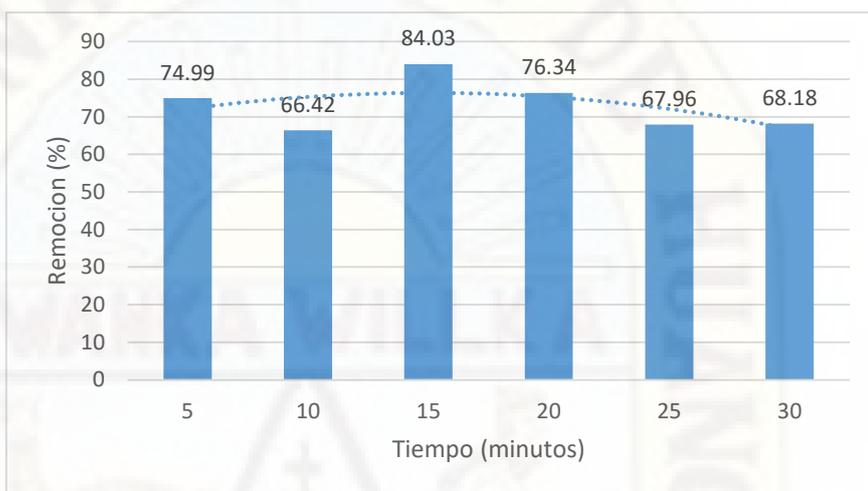
A partir de la tabla 9 se elaboraron las figuras 32 y 33 en los cuales podemos observar el tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante de la penca de tuna (*opuntia ficus-indica*) como ayudante en el proceso de potabilización de agua.

4.1.5. Figura de tiempo óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

Figura 32

Tiempo óptimo y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a 3 mg/L

Opuntia ficus-indica

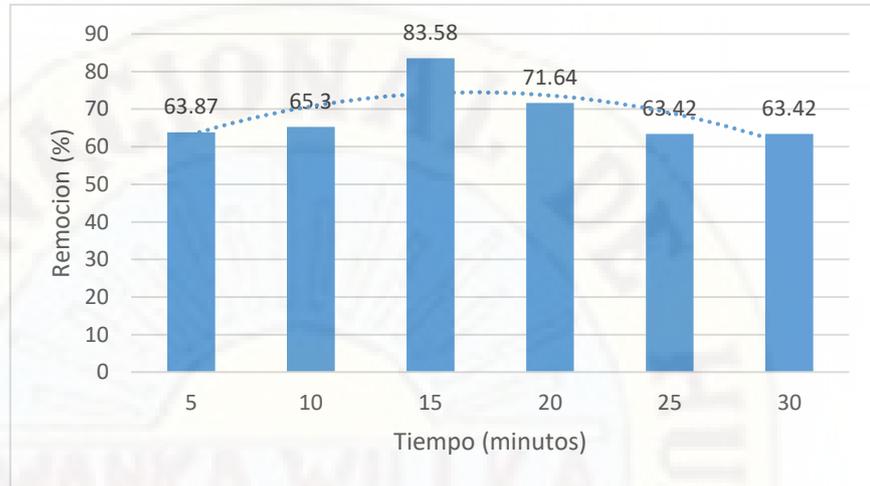


Como se observa en la gráfica el porcentaje de remoción para una dosis de 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L, 65 mg/L de sulfato de aluminio y la penca de tuna como ayudante (*Opuntia ficus-indica*) en una dosis de 3 mg/L a una concentración del 2 %.; esto para un tiempo de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos no cambia considerablemente se mantiene en un rango de 68 % a 84 %, se observa que el mayor porcentaje de remoción de partículas coloidales se da a los 15 minutos en un promedio de 84.03 %, así mismo el menor porcentaje de remoción de partículas coloidales se da a los 10 minutos.

Figura 33

Tiempo óptimo y porcentaje de remoción del agua de EMAPA a 5 mg/L

Opuntia ficus-indica



Observamos el comportamiento del porcentaje de remoción para una dosis de 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L, 65 mg/L de sulfato de aluminio y la penca de tuna como ayudante (*Opuntia ficus-indica*) en una dosis de 5 mg/L a una concentración del 2 %.; esto para un tiempo de 5, 10, 15, 20, 25 y 30, los resultados muestran que el porcentaje de remoción a los 5, 10, 25 y 30 minutos no cambia considerablemente se mantiene alrededor del 60%. Para un tiempo de 15 minutos se observa que es el mejor tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales con un 83.58%, así mismo el segundo mejor tiempo óptimo y con un mayor porcentaje de remoción es de 20 minutos con 71.64% de remoción de partículas coloidales.

4.2. Prueba de hipótesis

Para el contraste de hipótesis se realizó las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, siendo los supuestos que debería cumplir los datos para realizar el correcto análisis de varianza.

A. Test de normalidad

Tabla 9

Test de normalidad para dosis y tiempo en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019

Test de Kolmogorov-Smirnov	P – valor		
	Estadístico	P – valor	Nivel Sig.
Dosis (mg/L) 3	0.9878	0.0825	0.05
Dosis (mg/L) 5	0.0698	0.1000	0.05
Tiempo (min) 3	0.0505	0.2410	0.05
Tiempo (min) 5	0.0699	0.1001	0.05

La prueba de normalidad se realizó con el paquete estadístico SAS mediante el contraste de Kolmogorov-Smirnov que es el apropiado cuando los datos son mayores a 50 ($n > 50$). Se observa que todo los p-valores (Sig.) son mayores que el nivel de significación 0.05, por tanto, se concluye que los valores de dosis y tiempo presentan una distribución normal, En consecuencia, se cumple con el supuesto de normalidad.

B. Test de homogeneidad

Tabla 10

Test de homogeneidad de varianza para dosis y tiempo en la remoción de partículas coloidales utilizando Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019

Test de Levene	P-valor
Dosis (mg/l) 3	0.7231
Dosis (mg/l) 5	0.4898
Tiempo (min) 3	0.5656
Tiempo (min) 5	0.4543

La prueba de homogeneidad de varianza se realizó mediante el test de Levene, para dosis y tiempo siendo el p-valor de 0,7231; 0,4898; 0,5656 y 0,4543 por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de homogeneidad de las varianzas y se concluye que las dosis y los tiempos tienen varianzas homogéneas.

4.2.1. Pasos para la prueba de hipótesis

Como señala Hernández *et al.* (2014), la contrastación 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. Formulación de la hipótesis nula y alterna
2. Establecer el nivel de significancia o riesgo “ α ”.
3. Seleccionar el estadígrafo más apropiado.
4. Establecer la región crítica.
5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño “n”.
6. Decisión estadística: rechazar la hipótesis nula (H_0) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y aceptar la hipótesis alterna (H_a).

1. Formulación de la hipótesis nula y alterna

a) Formulación de la hipótesis nula y alterna para la hipótesis general

Ha: El efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante alcanza una remoción mayor al 60% en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.

$$\mu \geq 60 \%$$

Ho: El efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante alcanza una remoción que es menor al 60% en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.

$$\mu \leq 60 \%$$

b) Formulación de la hipótesis nula y alterna para la primera hipótesis específica

✓ Formulación de la hipótesis para la dosis

Ha: La dosis óptima utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante remueve mayor al 60 % de partículas coloidales en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.

$$\mu \geq 60 \%$$

Ho: La dosis óptima utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante remueve menor al 60 % de partículas coloidales en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019.

$$\mu \leq 60 \%$$

c) Formulación de la hipótesis nula y alterna para la segunda hipótesis específica

- ✓ Formulación de la hipótesis para el tiempo

Ha: El tiempo de floculación óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante es de 15 minutos en el proceso de potabilización del agua Huancavelica-2019.

$$\mu \geq 15 \text{ min}$$

Ho: El tiempo de floculación óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante es de 15 minutos en el proceso de potabilización del agua Huancavelica-2019.

$$\mu \leq 15 \text{ min}$$

2. Nivel de significación

En la presente investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir: $\alpha = 0.05$, por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con $1 - \alpha = 0.95$.

3. Estadístico de prueba

Se trabajó con el estadístico F de Fisher para el análisis de varianzas ANAVA (Sampieri, 2010).

4. Estimación de p-valor

Para la prueba de una cola con $\alpha = 0.05$ en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de F α , V1, V2.

Se utilizó la tabla de Fisher con valores críticos de la distribución de 0.05

$$K-1 = 6 - 5 = 5$$

$$K(n-1) = 6(15 - 1) = 84$$

$$F_{\text{tabla}} = 1/60 = 2.78$$

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

$F_{\text{cal}} >=$ que el valor del F de la tabla se rechaza la hipótesis nula.

5. Cálculo de los estadígrafos de prueba

5.1. Análisis de varianza (ANAVA) para la dosis y tiempo óptimo en la en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica - 2019.

Se realizó el análisis de varianza para la remoción de partículas coloidales. Para la dosis (43 a 68 mg/L) y tiempo (5 a 30 min) de *Opuntia ficus-indica* como ayudante. Presentaron efecto significativo ($P < 0.05$).

Tabla 11

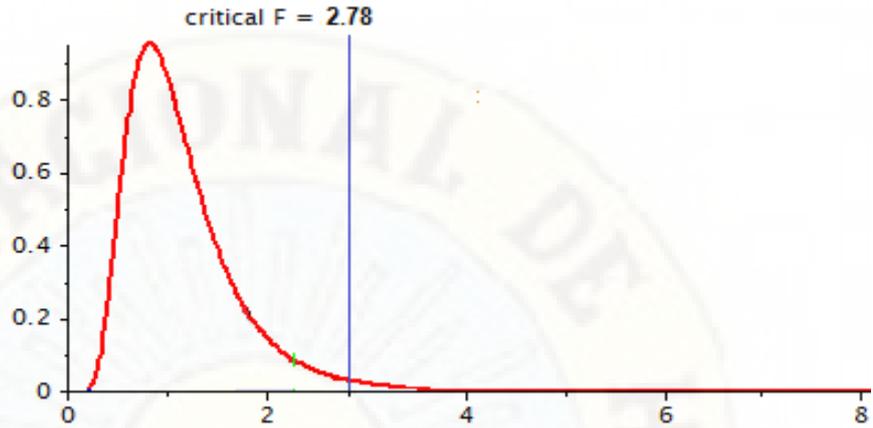
Análisis de varianza (ANAVA) comparando las remociones respecto a las dosis (43 a 68 mg/L) y tiempos (5 a 30 min).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	1484.338833	296.867767	95.64	<.0001
Error	54	167.611000	3.103907		
Total, corregido	59	1651.949833			

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

Figura 34

*Grafica del valor crítico y el valor de Fisher en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica**



El valor de Fischer (F) calculado es igual a 95.64 mayor que el valor de Fischer (F) tabla igual 2.78.

Pruebas de medias de Tukey de la dosis y tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica - 2019.

Se realizó la comparación de medias mediante la prueba de tukey a un nivel de significancia de alpha 0.05, para el cual presentó diferencia estadística la mejor fue 89.01 % a una dosis de 58^a mg/l y un tiempo de 15^a minutos de *Opuntia ficus-indica* como ayudante.

Tabla 12

*Prueba de medias de Tukey en las unidades de dosis (mg/L) y tiempo(min) óptimo del coagulante de *Opuntia ficus-indica* como ayudante.*

Tukey Agrupamiento	Media	N	Dosis (mg/L)
a	89.0100	10	58
b	86.0600	10	48
b	85.9800	10	43
b	85.1700	10	68
b	84.6200	10	63
c	73.3500	10	53

(a, b y c) son promedios (medias) dentro de columnas con letras diferentes difieren entre si según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

5.2. Análisis de varianza (ANAVA) de la dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica - 2019.

Se realizó el análisis de varianza para la remoción de partículas coloidales. Para la dosis (43 a 68 mg/L) de *Opuntia ficus-indica* como ayudante. Presentaron efecto significativo ($P < 0.05$).

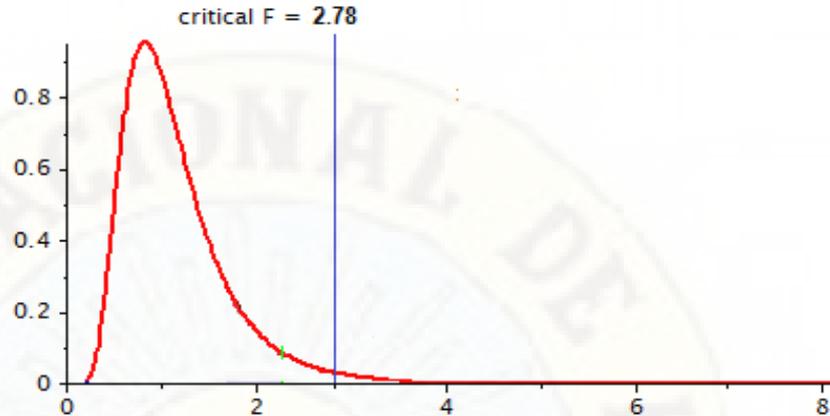
Tabla 13

Análisis de varianza (ANAVA) comparando las remociones respecto a las dosis (43, 48, 53, 58, 63 y 68 mg/L).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	2001.42293	400.28459	6.48	<.0001
Error	354	21861.90276	61.75679		
Total corregido	359	23863.32568			

Figura 35

Grafica del valor crítico y el valor de Fisher de la dosis óptima



El valor de Fischer (F) calculado es igual a 6.48 mayor que el valor de Fischer (F) tabla igual 2.78.

Pruebas de medias de Tukey de la dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de $\alpha 0.05$, para el cual presenta diferencia estadística en las dosis (43 a 68 mg/L) de sulfato de aluminio más *Opuntia ficus-indica*, sin embargo, se puede observar que no existen diferencias estadísticas entre las remociones de (75.64^a, 75.40^a y 74.13^a) en las dosis de 58, 63 y 68 mg/L respectivamente.

Tabla 14

Prueba de medias de Tukey en las unidades de dosis óptima (mg/L) del coagulante de Opuntia ficus-indica como ayudante.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Dosis (mg/L)
a	75.643	60	58
a	75.401	60	63
a	74.134	60	68
b	72.285	60	48
b	71.587	60	53
b	68.899	60	43

(a y b) son promedios (medias) dentro de columnas con letras diferentes difieren entre si según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

“a” son promedios (medias) dentro de columnas con letras iguales no difieren entre si según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

5.3. Análisis de varianza (ANAVA) del tiempo óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica - 2019.

Se realizó el análisis de varianza para la remoción de partículas coloidales. Para el tiempo (5 a 30 min) de *Opuntia ficus-indica* como ayudante. Presentaron efecto significativo ($P < 0.05$).

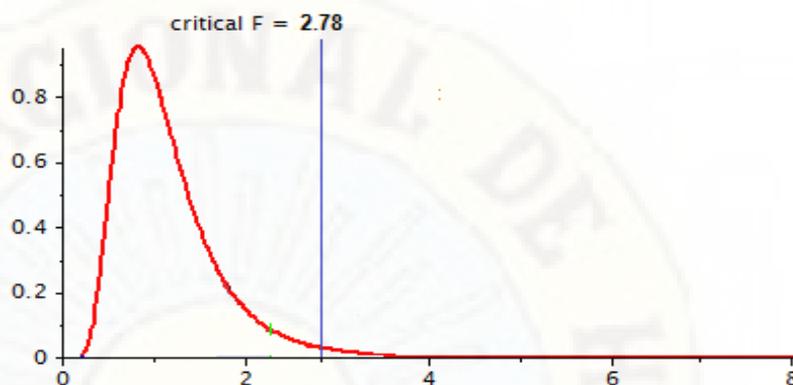
Tabla 15

Análisis de varianza (ANAVA) comparando las remociones respecto a los tiempos (5, 10, 15, 20, 25, 30 min).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	13720.28081	2744.05616	95.78	<.0001
Error	354	10141.78250	28.64910		
Total corregido	359	23862.06331			

Figura 36

*Grafica del valor crítico y el valor de Fisher para tiempo óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica**



El valor de Fischer (F) calculado es igual a 95.78 mayor que el valor de Fischer (F) tabla igual 2.78

Pruebas de medias de Tukey del tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de alpha 0.05, para el cual presenta diferencia estadística de los tiempos (5 a 30 min) de *Opuntia ficus-indica* como ayudante. Se puede observar que presentó diferencia estadística, la mejor fue de (84.03^a) con un tiempo óptimo de 15 minutos.

Tabla 16

Prueba de medias de Tukey en las unidades de tiempo óptimo (min) del coagulante de Opuntia ficus-indica como ayudante, (a, b y c) son promedios (medias) dentro de columnas con letras diferentes difieren entre si según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Tukey Agrupamiento	Media	N	Tiempos (minutos)
a	84.0317	60	15
b	76.3467	60	20
b	74.9967	60	5
c	68.1833	60	30
c	67.9667	60	25
c	66.4233	60	10

“a” son promedios (medias) dentro de columnas con letras iguales no difieren entre si según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

6. Decisión estadística

a) Decisión estadística para la hipótesis general

Se acepta la hipótesis alterna (H_a) y rechazo la hipótesis nula (H_0). Debido a que el valor de Fischer (F) calculado es igual a $95.64 >$ que el valor de Fischer (F) tabla igual 2.78 además de la prueba de medias (Tuckey) por lo tanto se afirma que; La remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* es mayor a 60 % como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019. Demostrando que existe significación en la remoción que presentó 89.01 % a una dosis de 58^a mg/L y un tiempo de 15^a minutos de *Opuntia ficus-indica*.

b) Decisión estadística para la primera hipótesis específica para dosis óptima

Se acepta la hipótesis alterna (H_a) y rechazo la hipótesis nula (H_0). Debido a que el valor de Fisher (F) calculado es igual a $6.48 >$ que el valor de Fisher (F) tabla igual 2.78 además de la prueba de medias (Tuckey) por lo tanto se afirma que; **La dosis óptima utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante remueve mayor al 60 % de partículas coloidales en el proceso de potabilización de agua EMAPA Huancavelica-2019.** Demostrando que existe significación en la dosis óptima de *Opuntia ficus-indica*, para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

c) Decisión estadística para la segunda hipótesis específica para tiempo óptimo

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de Fisher (F) calculado es igual a $95.78 >$ que el valor de Fisher (F) tabla igual 2.78, además de la prueba de medias (Tuckey) por lo tanto se afirma que; **El tiempo de floculación óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* como ayudante es de 15 minutos en el proceso de potabilización del agua EMAPA Huancavelica-2019.** Demostrando que existe significación en el tiempo óptimo de *Opuntia ficus-indica*, para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

5.4. Discusión de resultados

5.4.1. Porcentaje de remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica-2019.

Los resultados que se han obtenido en esta investigación nos permitieron hallar el porcentaje de remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA- Huancavelica – 2019, para una dosis y tiempo óptimo

Este porcentaje de remoción se determinó mediante el ensayo del test de jarras para una dosis de 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L y 65 mg/L de sulfato de aluminio y como ayudante la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en una dosis de 3 mg/L y 5 mg/L a una concentración del 2%, y con un tiempo de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos en tanto este porcentaje de remoción fue de 89.01 % y para una dosis de 58 mg/L y un tiempo de 15 min con 3 mg/L de tuna (*Opuntia ficus-indica*). Al igual que Vargas (2018) quien utilizó el coagulante del *Opuntia ficus-indica* para el tratamiento de aguas del río Chillón en el cual dentro de sus resultados obtenidos menciona que se logró un porcentaje de remoción de 92.58 % cabe destacar que en esta investigación se usó una dosis de 150 mg/L siendo sumamente elevada, parecido a Jaimes (2016) quien evaluó la eficiencia del coagulante natural *opuntia ficus-indica* con un sistema de filtración para la remoción de parámetros fisicoquímicos y biológicos en el agua residual domestica del centro urbano hornillos, los resultados que obtuvo mencionan que al evaluar la eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica* y durante el ensayo de jarras logró una eficiencia de remoción del 95 % semejante a Olivero et al., (2015) quienes evaluaron el nopal *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural en el proceso de clarificación de agua, mediante este tratamiento se logró alcanzar remociones superiores al 50 %, los más altos fluctúan entre los 96 a 98 %.

5.4.2. Dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

Los resultados obtenidos del trabajo de investigación permitieron establecer la dosis óptima para la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA- Huancavelica-2019.

Esta dosis óptima fue determinada mediante el ensayo del test de jarras para una dosis de 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L, 65 mg/L de sulfato de aluminio y como ayudante la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en una dosis de 3 mg/L y 5 mg/L a una concentración del 2%, en tanto esta dosis óptima fue de 58 mg/L logrando como porcentaje de remoción de partículas la cantidad de 75.64 %. Similar a López (2018) quien evaluó el uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas, donde demostró que las dosis óptimas del coagulante natural estuvieron en el rango de 30 mg/L a 90 mg/L a una concentración del 2% lo cual indica que no se necesita grandes cantidades de coagulante para el tratamiento de agua. Coincidimos con Olivero, Florez, Vega, & Villegas (2017) donde utilizaron coagulantes naturales como el *Opuntia ficus-indica* comparando su desempeño frente al sulfato de aluminio, estos resultados indican que la mezcla de *Opuntia ficus-indica* y sulfato de aluminio a una dosis de 45 mg/L alcanzo una eficiencia del 99.5%, se usó la velocidad de 300 rpm, favoreciendo que el principio activo de los coagulantes esté en mayor contacto con las partículas suspendidas en el agua. Con similitud a Torres (2017) quien investigo el Análisis del coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con fines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca, Apurímac, la dosis óptima obtenida de la combinación sulfato de aluminio tipo A y coagulante natural es de 20 mg/L de sulfato de aluminio con 5 mg/L de *Opuntia ficus-indica* que logro alcanzar una remoción del 85.76%. A diferencia de Alcázar (2015) donde aplico solo el coagulante natural obteniendo a partir de la penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) sin la combinación con

el sulfato de aluminio para la mejorar la calidad de agua, en tanto a los resultados obtenidos de esta investigación mencionan que se usaron una dosis de 5 y 6 mg/L del coagulante de penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) alcanzando un porcentaje de remoción promedio de 93.15% a 90.82% para las 2 muestras respectivamente.



5.4.3. Tiempo óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA – Huancavelica 2019.

Los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación permitieron determinar el tiempo óptimo para la remoción de partículas coloidales utilizando *Opuntia ficus-indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA- Huancavelica-2019.

Este tiempo óptimo fue determinado mediante el ensayo del test de jarras para una dosis de 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L, 65 mg/L de sulfato de aluminio y como ayudante la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en una dosis de 3 mg/L y 5 mg/L en concentración al 2 %, esto para un tiempo de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos, en tanto este tiempo óptimo de remoción de partículas coloidales fue de 15 minutos para una dosis de 3 mg/L, con un porcentaje de remoción de 84.03 %. Al igual que Puma (2020) quien evaluó el proceso de coagulación y floculación con mucilago de *Opuntia ficus-indica* como adyuvante del FeCl_3 en efluentes de servicios de comida donde obtuvo como mejor tiempo óptimo en la disminución de turbidez, durante los primeros 5 y 15 minutos después terminado el proceso. A diferencia de Atupaña y Guacho (2019) quienes determinaron la eficiencia del *Opuntia ficus-indica* como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales en el río bulubulu, trabajaron con una dosis de 9 mg/l solo de biocoagulante de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), obteniendo como un mejor tiempo óptimo de remoción de partículas de 3 minutos con 53 segundos, así mismo también se difiere con Depaz (2015) quien utilizó la semilla de moringa oleífera como ayudante en el proceso de coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz Huaylas – Ancash; dentro de los resultados que obtuvo, logró reducir la dosis de sulfato de aluminio de 20 mg/L a 18 mg/L obteniendo un tiempo óptimo de 21 minutos.

CONCLUSIONES

- El mejor porcentaje de remoción de partículas coloidales se dio para una dosis de 58 mg/L y un tiempo de 15 minutos; esto para una dosis de penca de tuna *Opuntia ficus-indica* (3 mg/L) alcanzando una remoción del 89.01%.
- La dosis óptima de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante, para las concentraciones de 3 mg/L fue de 58mg/L, con una remoción efectiva del 75.64 %.
- El tiempo óptimo encontrado al utilizar sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante; para una dosis de penca de tuna de 3 mg/L fue de 15 minutos, logrando un porcentaje de remoción de 84.03 % respectivamente.
- Habiendo utilizado el sulfato de aluminio más el ayudante (mucilago de la penca de tuna); las dosis del primero fueron variables de 40, 45, 50, 55, 60 y 65 mg/L, mientras que para el segundo fue constante de 3 y 5 mg/L, para concluir la mejor dosis de ayudante fue de 3 mg/L, alcanzando una mejor remoción.

RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis exhaustivo de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) utilizando diferentes tamices, con el fin de conocer cómo influye el tamaño de la partícula en los distintos procesos de coagulación y floculación.
- Utilizar dosis mayores a las propuestas por esta investigación (3mg/L y 5mg/L) para comprobar si existe una diferencia significativa en cuanto a la remoción de las partículas coloidales en el tratamiento de aguas para consumo humano.
- Realizar más investigaciones respecto a los coagulantes naturales ya que se ha demostrado mediante esta investigación la capacidad efectiva de remoción de partículas coloidales.
- Aplicar las dosis de ayudante (3 y 5 mg/L) para una turbidez inicial superior a los 100 NTU. ya que la presente investigación trabajo con una turbidez inicial máxima no mayor a 100 NTU, con el fin de identificar la capacidad de remoción a altos niveles de turbidez.
- Trabajar con diferentes concentraciones para obtener una concentración óptima, debido a que en la presente investigación se trabajó a una concentración del 2 %.
- Realizar la recolección de datos en épocas de máximas avenidas, porque los niveles de turbidez son mayores a 5 NTU.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcázar, D. (2015). Aplicación de un coagulante natural obteniendo a partir de la penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la mejora de la calidad de aguas de consumo en la localidad de Achocalla. Universidad Nacional de San Andrés.
- Atupaña, F. G., & Guacho, J. A. (2019). Determinación de la eficiencia del *Opuntia Ficus-Indica* como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río Bulubulu. Tesis Pregrado, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil.
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición. Fidas G. Arias Odón.
- Barrenechea, A. (2016). Ingeniero Ambiental. Recuperado el setiembre de 2021, de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>
- Barrenechea. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú.
- Bertrand, R. (1982). La perspectiva científica. *Revista filosófica*, 3.
- Cárdenas, Y. A. (2000). Coagulación y Floculación. Lima: Sedapal.
- Castellanos, F. (2017). Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.
- Cerón, I., & Nadine, G. (2015). Evaluación de la Semilla de *Moringa Oleifera* como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el Municipio de Villapinzón. Universidad, Bogotá.
- Contreras, K. P., Aguas, Y., Salcedo, G., Olivero, R., & Mendoza, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la

clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40-50.

<https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a3>

Cordero, M., & Ullauri, P. (2011). Filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias, constante de 3 unidades de filtros gruesos ascendentes (FGAS), 2 filtros lentos de arena (FLA), sistema para aplicación de cloro y 1 tanque de almacenamiento. Universidad de Cuenca.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia: Nelson Antequera Durán.

Depaz, K. (2015). Utilización de la semilla natural moringa oleífera como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz provincia de Huaylas Ancash. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.

Díaz, M. (2018). Ecuaciones y cálculo para el tratamiento de aguas. España.

Fuentes, N., Molina, E., & Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(41-54). Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1238>

Grekin, J. (2010). AGUA POTABLE, DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y DESARROLLO. Recuperado el Setiembre de 2021, de <https://www.cbd.int/development/doc/cbd-good-practice-guide-water-booklet-web-es.pdf>

Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, P., & Fernández Collado, C. (2014).

Metodología de la investigación. México [etc.]: McGraw-Hill Interamericana.

Jaimes, N. Z. (2016). Eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica* miller con un sistema de filtración para la remoción de parámetros físicoquímicos y

- biológicos en el agua residual domestica del centro urbano Hornillos, Ancash
2016. Tesis pregrado, Ancash.
- Kirchmer, C. (1980). Aspectos Químicos y Físicos de la Coagulación del Agua. Centro
Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales CEPIS. Colombia
- Lapeña, M. (2016). *Tratamiento de aguas industriales*. Madrid, España: Publicaciones Meishu.
- Loayza, A. (2017). Análisis de la dosificación de coagulantes por efectos de la turbidez
en el tratamiento de agua potable de la planta de SEDAM Huancayo.
Universidad Continental, Huancayo.
- López, M. (2018). Evaluación del uso de la Cactácea opuntia fíus-indica como
coagulante natural para el tratamiento de aguas. Universidad Nacional Agraria la
Molina, Lima.
- Manual tecnico de cultivo de tuna. (2009). Gerencia regional agraria La Libertad.
- Marín, R. G. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos.
Tratamiento y control de calidad de aguas. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Martínez, C. J. (2019). Potabilización del agua. Madrid, España: Elearning, S.L.
- Miller, P., Buschena, C., Jones, & Holmes, J. (2008). Transition from intensive tillage
to no-tillage and organic diversified annual cropping systems. 500.
- Momiy, F. (4 de Setiembre de 2015). Diálogos del Agua. 25.
- Morejón, B. (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 Tecnica del Norte, Ecuador.
- Morejón, 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, Ecuador.

- Nava, A. (2017). Brechas latentes. Índice de avance contra la desigualdad. *Oxfam*
- Ojeda, M. (2015). Tratamiento de Agua Potable.
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*, 11(1), 70-75.
<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
- Olivero, R., Flórez, A., Vega, L., & Villegas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 12(2), 71-79.
<https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a6>
- Olivero, R., Mendoza, G., Salcedo, G., Aguas, Y., & Contreras, K. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40-50.
<https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a3>
- Olivero, R., Mercado, I., & Montes, L. (2014). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8, 19-27.
- Puma, Y. (2020). Evaluación del proceso de coagulación y floculación con mucílago de *Opuntia ficus indica* como ayudante del $FeCl_3$ en efluentes de servicios de comida. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Arequipa.
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153.
<https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>

- Rigola, M. L. (1990). *TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES: Aguas de proceso y residuales*. España: Marcombo.
- Roldan, G. A. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Saenz, C. (2006). Boletín de servicios agrícolas de la FAO. FAO-CACTUS NET Y AGST.
- Salamanca, E. (2016). *Tratamiento de aguas para el consumo humano*. Universidad de Manizales, Bogota.
- Silva, M. N. (2017). Extracción del mucilago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Solís, R., Laines, J., & Hernandez, J. (2015). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambien.*, 28(229-236), 8.
- Torres, V. (2017). Análisis de coagulante natural opuntia ficus defines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca, Apurímac, 2016. Universidad César Vallejo, Lima.
- Trapote, A. (2013). *Infraestructuras Hidráulico Sanitarias*. España: Universidad Alicante.
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155.
<https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>
- Vargas, J. L. (2018). Comparación de la capacidad coagulante del opuntia ficus indica mill de tres departamentos para el tratamiento de aguas del rio Chillón - AAHH Santa Cruz del Norte Lima. Tesis pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Escuela profesional de ingeniera ambiental, Lima

Villano, B. (2016). Comparación de métodos de extracción de espesantes alimenticios de tres variables de cactáceas (Cactaceae). Universidad Nacional Jose Maria Arguedas, Andahuaylas.

Weber, W. (2021). Control de la calidad del agua: Procesos fisicoquímicos. Barcelona, España: Reverte.



MATRIZ DE CONSISTENCIA

EFECTO DE LA DOSIS Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES UTILIZANDO EL COAGULANTE *OPUNTIA FICUS-INDICA* COMO AYUDANTE EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA HUANCVELICA-2019.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES / INDICADORES	MÉTODOS Y TÉCNICA	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es el efecto de la dosis y tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica-2019?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo determinar la dosis óptima de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica-2019? • ¿Cómo determinar el tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica-2019? 	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el efecto de la dosis y tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica-2019.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la dosis óptima en la remoción de partículas coloidales utilizando <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica-2019. • Determinar el tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante en el proceso de potabilización de agua EMAPA-Huancavelica-2019. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante alcanza una efectividad de remoción mayor al 60 % en el proceso de potabilización de agua EMAPA Huancavelica-2019. <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La dosis óptima utilizando el coagulante natural de <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante remueve más del 60 % de partículas coloidales en el proceso de potabilización de agua EMAPA Huancavelica-2019. • El tiempo de floculación óptimo en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante natural de <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante es de 15 minutos en el proceso de potabilización del agua EMAPA Huancavelica-2019. 	<p>VARIABLES INDEPENDIENTES</p> <p>Dosis y tiempo de floculación del coagulante natural de <i>Opuntia ficus-indica</i> como ayudante.</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dosis - Tiempo <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Remoción de partículas coloidales utilizando <i>Opuntia ficus-indica</i> (penca de tuna) como ayudante.</p> <p>Parámetros de control</p> <ul style="list-style-type: none"> • Turbidez • pH • Conductividad eléctrica • Temperatura 	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Explicativo.</p> <p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Método Científico-experimental</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Experimental-preexperimental</p> <p>POBLACIÓN</p> <p>El agua que se encuentra antes de entrar a la unidad de floculación EMAPA-Huancavelica.</p> <p>MUESTRA</p> <p>No probabilística</p> <p>Agua que se encuentra antes de entrar a la unidad de floculación EMAPA-Huancavelica.</p>	<p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Wincha de 5m • Laboratorio • Balanza analítica • Turbidímetro • Multiparámetro • Equipos Test de jarras <p>Técnicas de procesamiento y análisis de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excel y SAS • Métodos de análisis de laboratorio. • ANAVA y Tukey.

APÉNDICE

Figura 37

Ubicación del área de recolección de las pencas de tuna.



Figura 38

Limpieza de impurezas y espinas de las pencas.



Figura 39

Las pencas de tuna con sus respectivos rótulos.



Figura 40

Pesado de las pencas de tuna.



Figura 41

Medición de las pencas de tuna (Long, ancho y espesor).



Figura 42

Pelado de las pencas de tuna.



Figura 43

Picado de las pencas de tuna.



Figura 44

Llenado de las pencas de tuna a las placas Petri.



Figura 45

Placas Petri en la Mufla, la correcta forma de tapar las placas para la deshidratación de las pencas.



Figura 46

Pencas de tuna deshidratadas después de sacar de la Mufla.



Figura 49

Harina de penca de tuna en envase.

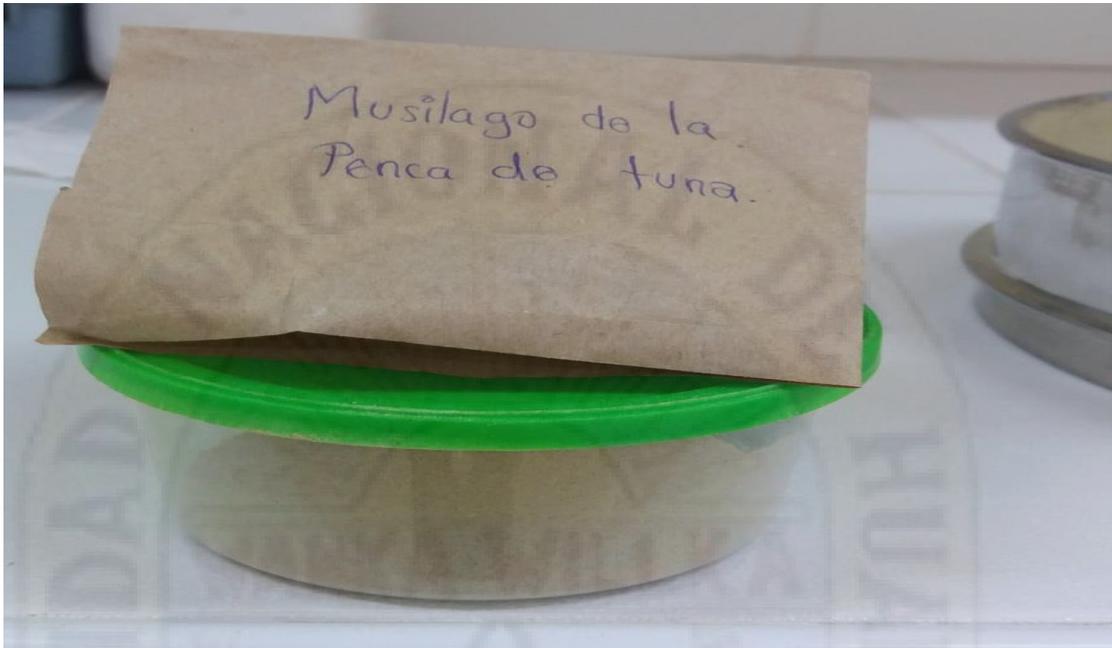


Figura 50

Recolecta de la muestra de agua de la captación Ichu.



Figura 51

Elaboración de la muestra madre del sulfato de aluminio.



Figura 52

Pesado de 10gr de sulfato de aluminio en la balanza analítica.



Figura 53

Llenar en la fiola de 100ml el sulfato de aluminio.



Figura 54

Echar agua destilada a la fiola hasta los 100ml.



Figura 55

Agitado de la fiola.



Figura 56

Muestra madre al 2% de sulfato de aluminio rotulada.

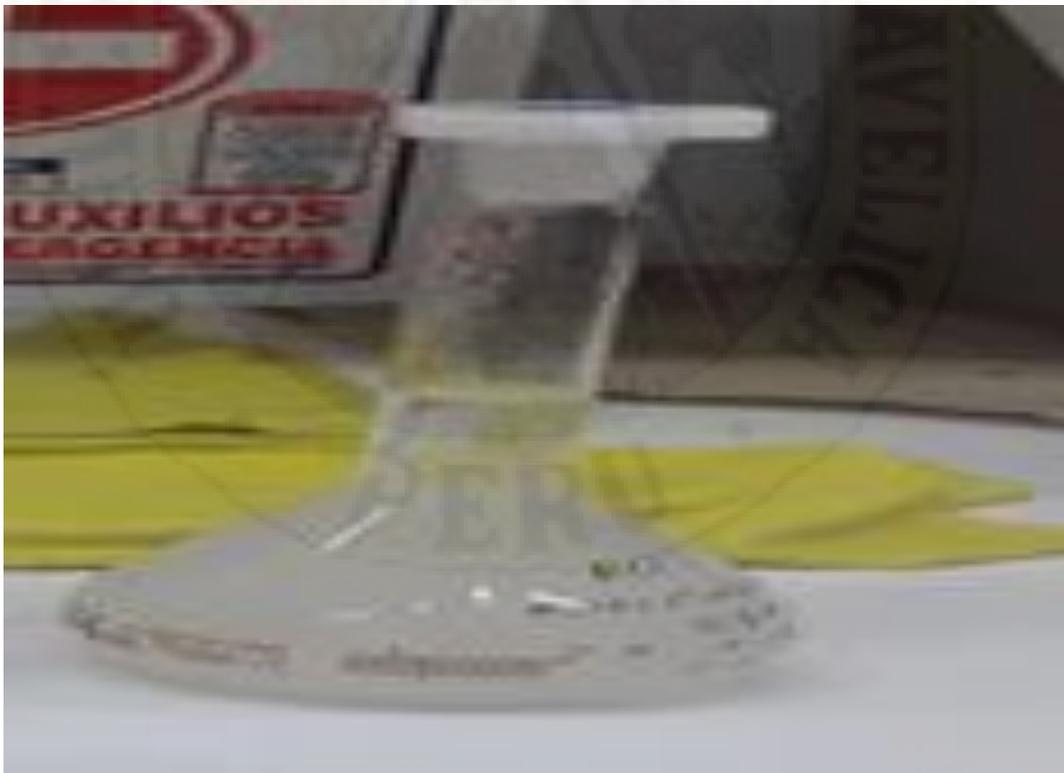


Figura 57

Muestra madre de penca de tuna al 2%.

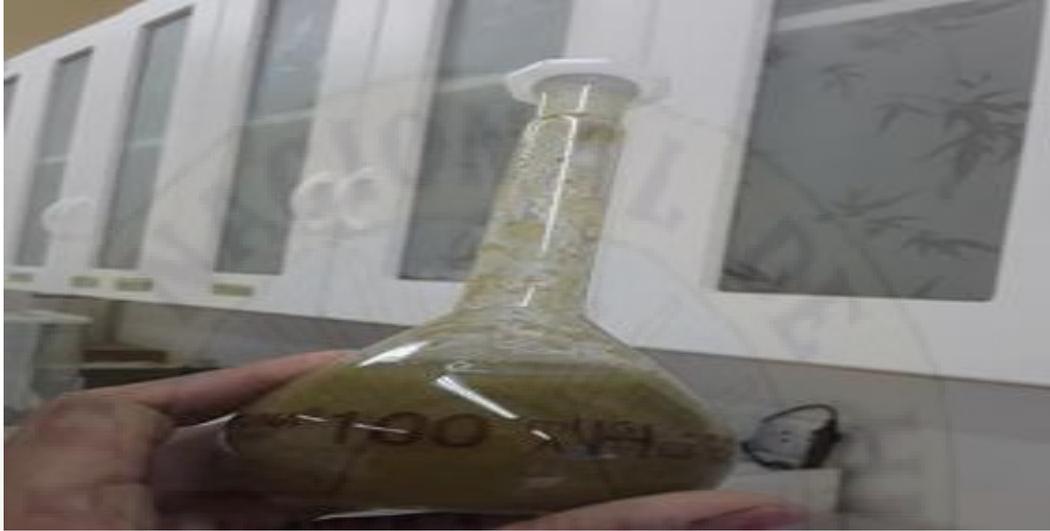


Figura 58

Muestras madre de penca de tuna y sulfato de aluminio.



Figura 59

Preparado de las 6 dosis (sulfato y su ayudante el mucilago).

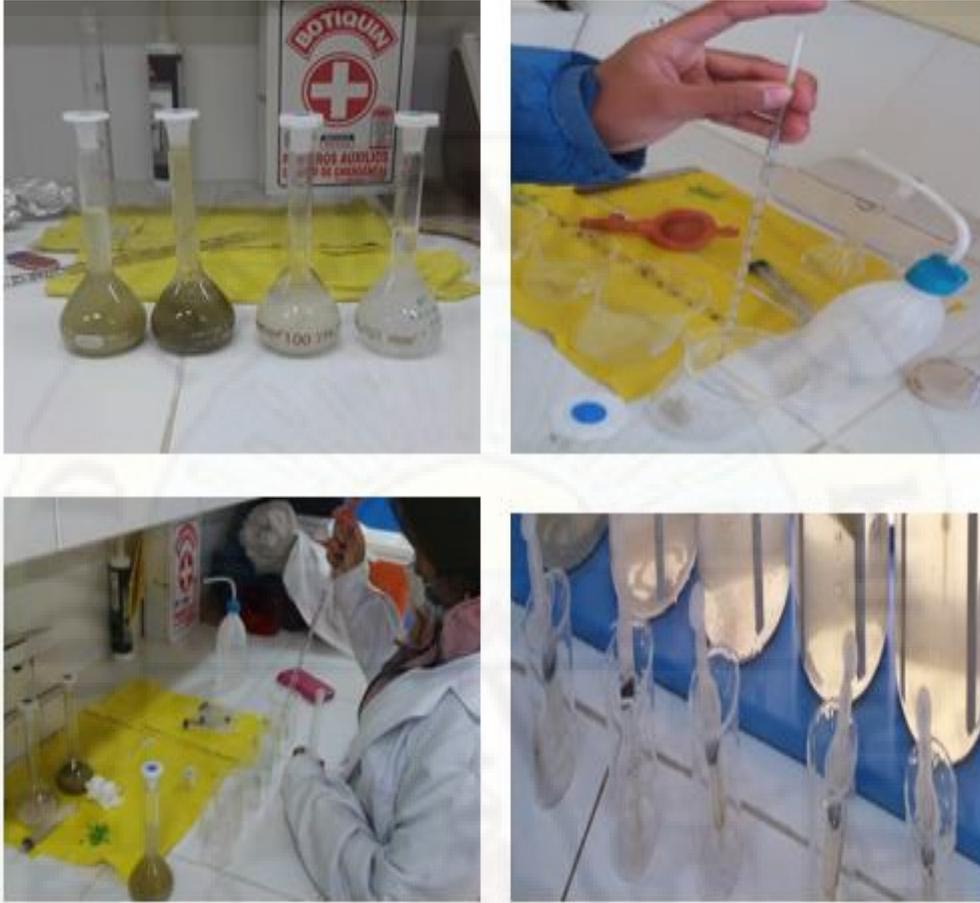


Figura 60

Medición de los parámetros de la muestra.



Figura 61

Colocando correctamente las jarras.



Figura 62

Dosificando a las jarras con las 6 dosis.



Figura 63

Jarra con su respectivo flotador.



Figura 64

Expulsando con la jeringa unos 5 ml del agua de los flotadores.



Figura 65

Sacando con los flotadores el agua de cada jarra para su posterior análisis.

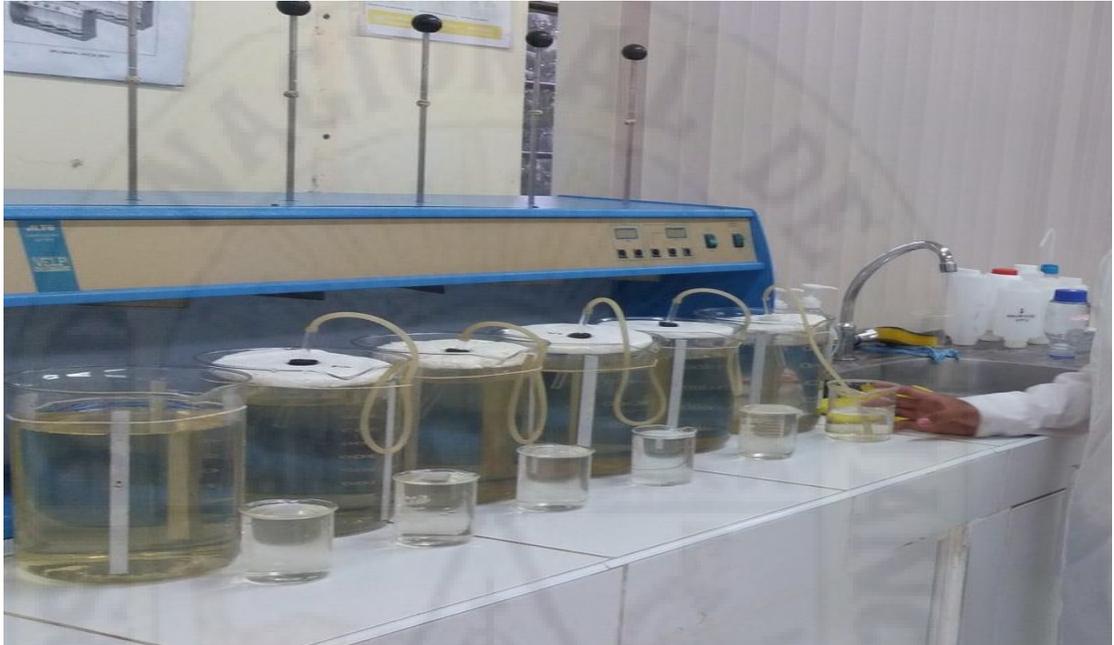


Figura 66

Solicitando permiso al gerente de EMAPA para el acceso a sus equipos.



Figura 67

Acondicionando las jarras con deflectores para su mayor remoción.



Figura 68

Confiabilidad de los instrumentos para la recolección de datos



C/11260

INFORME N° 006 - 2021 – EMAPA-Hvca. /UPCC/LAB. /irpo.

A : ING. CESAR AUGUSTO ROCA VILCHEZ
Responsable de la UPCC EMAPA - Hvca.

DE : T^{EC}. JAIME R. PINO OBREGON
Responsable Laboratorio EMAPA - Hvca.

ASUNTO : REMITO DATOS DE LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS EQUIPOS CON
SUS RESPECTIVOS ESTÁNDARES Y BUFFER DE LAS P.T.A.Ps
MILLPO E ICHU, CORRESPONDIENTES AL MES DE ENERO DEL 2021.

FECHA : Huancavelica, 05 de Febrero del 2021.

Es grato dirigirme a usted, con la finalidad de remitirle información de **LOS DATOS DE LAS VERIFICACIONES Y/O ESTANDARIZACIÓN DE LOS EQUIPOS CON SUS RESPECTIVOS ESTÁNDARES Y BUFFER DE LAS P.T.A.Ps MILLPO E ICHU, CORRESPONDIENTES AL MES DE ENERO DEL 2021.**

PTAP MILLPO

Adjunto:

- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18080C068978.
- ↓ 01 Lista de **VERIFICACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18080C068978.
- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **EQUIPO MULTIPARAMETRO** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: HQ40D, N° DE SERIE: 180700001550.
- ↓ 01 Lista de la verificación del **COLORÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: DR 900, N° DE SERIE: 181850001021.

➤ **PTAP ICHU**

Adjunto:

- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18010C064616.
- ↓ 01 Lista de **VERIFICACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18010C064616.
- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **EQUIPO MULTIPARAMETRO** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: HQ40D, N° DE SERIE: 180700001229.
- ↓ 01 Lista de la verificación del **COLORÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: DR 900, N° DE SERIE: 181790001050.

Es cuanto informo a Ud. Para su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente,


T^{EC}. Jaime R. Pino Obregon
Responsable del Laboratorio P.T.A.Ps
EMAPA - Hvca.

Revisado
[Signature]
19/03/21

C.c.
- U.P.C.C.
- Archivo

INFORME N° 007 - 2021 – EMAPA-Hvca. /UPCC/LAB. /irpo.

A : ING. CESAR AUGUSTO LOCA VILCHEZ
Responsable de la UPCC EMAPA - Hvca.

DE : TÉC. JAIME R. PINO OBREGON
Responsable Laboratorio EMAPA - Hvca.

ASUNTO : REMITO DATOS DE LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS EQUIPOS CON
SUS RESPECTIVOS ESTÁNDARES Y BUFFER DE LAS P.T.A.Ps
MILLPO E ICHU, CORRESPONDIENTES AL MES DE FEBRERO DEL
2021.

FECHA : Huancavelica, 15 de Marzo del 2021.

Es grato dirigirme a usted, con la finalidad de remitirle información de **LOS DATOS DE LAS VERIFICACIONES Y/O ESTANDARIZACIÓN DE LOS EQUIPOS CON SUS RESPECTIVOS ESTÁNDARES Y BUFFER DE LAS P.T.A.Ps MILLPO E ICHU, CORRESPONDIENTES AL MES DE FEBRERO DEL 2021.**

PTAP MILLPO

Adjunto:

- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18080C068978.
- ↓ 01 Lista de **VERIFICACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18080C068978.
- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **EQUIPO MULTIPARAMETRO** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: HQ40D, N° DE SERIE: 180700001550.
- ↓ 01 Lista de la verificación del **COLORÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: DR 900, i1° DE SERIE: 181850001021.

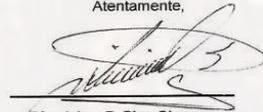
PTAP ICHU

Adjunto:

- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18010C064616.
- ↓ 01 Lista de **VERIFICACIÓN** del **TURBIDÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: 2100Q, N° DE SERIE: 18010C064616.
- ↓ 01 Lista de **CALIBRACIÓN** del **EQUIPO MULTIPARAMETRO** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: HQ40D, N° DE SERIE: 180700001229.
- ↓ 01 Lista de la verificación del **COLORÍMETRO PORTÁTIL** de uso ACTUAL
MARCA: HACH, MODELO: DR 900, N° DE SERIE: 181790001050.

Es cuanto informo a Ud. Para su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente,


Téc. Jaime R. Pino Obregon
Responsable del Laboratorio P.T.A.Ps
EMAPA - Hvca.

C.c.
- U.P.C.C.
- Archivo

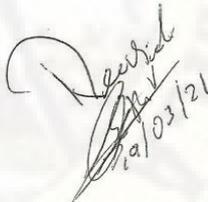

Revisado
15/03/21

Figura 69

Solicitud para el uso del laboratorio EMAPA - HVCA

