

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

EFFECTO DEL COAGULANTE NATURAL DE *Opuntia ficus-indica* EN LA DISMINUCIÓN DE TURBIEDAD EN EL AGUA DEL RÍO GRANDE, CAJAMARCA 2021

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: FÁTIMA LILIANA ROJAS CABRERA

Asesor:

Mg. FERNANDO CAMILO JOAQUÍN RODRÍGUEZ

Cajamarca, Perú

2022

COPYRIGHT © 2022 by
FÁTIMA LILIANA ROJAS CABRERA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

EFFECTO DEL COAGULANTE NATURAL DE *Opuntia ficus-indica* EN LA DISMINUCIÓN DE TURBIEDAD EN EL AGUA DEL RÍO GRANDE, CAJAMARCA 2021

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: FÁTIMA LILIANA ROJAS CABRERA

JURADO EVALUADOR

Mg. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez
Asesor

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

M.Cs. Jimmy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

Cajamarca, Perú

2022



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:10 horas, del día 27 de junio de dos mil veintidós, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **M.Cs. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**, y en calidad de Asesor el **Mg. FERNANDO CAMILO JOAQUIN RODRÍGUEZ**, Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **EFFECTO DEL COAGULANTE NATURAL DE *Opuntia ficus-indica* EN LA DISMINUCIÓN DE TURBIEDAD EN EL AGUA DEL RÍO GRANDE, CAJAMARCA 2021**, presentada por la **Bach. en Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos, FÁTIMA LILIANA ROJAS CABRERA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBACION con la calificación de DIECISIETE (17) EXCELENTE la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bach. en Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos, FÁTIMA LILIANA ROJAS CABRERA**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en Gestión Ambiental.

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Mg. Fernando Camilo Joaquin Rodriguez
Asesor


.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador


.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a:

Mi madre, por su gran labor al educarme, apoyarme y formarme como una persona de bien, brindándome todo su amor en cada paso de mi vida.

A toda mi familia por todo el gran cariño y aprecio que siento que ellos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

- *Dios por brindarme la vida y elegirme como su hija amada.*
- *Mi madre que me fortalece cada día y es el motor más grande que tengo para seguir adelante.*
- *Toda mi familia por ser lo mejor que tengo y sentirme orgullosa de tenerlos en mi vida.*
- *La Universidad Nacional de Cajamarca por brindarme la oportunidad de desarrollar la Maestría en Gestión Ambiental en un ámbito lleno de conocimiento, saberes y compañerismo.*
- *Mg. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez, asesor del presente trabajo de investigación por todos los aportes y apoyo incondicional, brindado durante todo el desarrollo de la investigación.*
- *El Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos Manuel Alfredo Zelada Sangay, por su amistad y conocimientos impartidos en las diferentes fases del trabajo de investigación.*

EPÍGRAFE

“El que no vive para servir, no sirve para vivir”

Madre Teresa de Calcuta.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
CAPÍTULO I.....	1
1.INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	4
2.REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO	4
2.1.Antecedentes de la investigación.....	4
2.2.Bases teóricas	7
2.2.1.Importancia del tratamiento del agua.	7
2.2.2.Coagulante natural: Opuntia ficus-indica	13
2.2.3.Parámetros del agua de río: La turbidez	23
2.2.4.Efecto del coagulante natural (Opuntia ficus-indica) sobre la turbidez del agua de río.....	34
2.3.Definición de términos	37
CAPÍTULO III	41
3.1.UBICACIÓN	41
3.1.1.Ubicación geográfica.....	41
3.1.2.Ubicación Política	42
3.2.ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	43
3.2.1.Climatología	43
3.2.2.Precipitación	44
3.2.3.Temperatura media mensual.....	45
3.2.4.Humedad Relativa	46
3.2.5.Dirección del viento.....	46
3.2.6.Accesibilidad	47
3.2.7.Hidrografía	48
3.2.8.Condiciones edáficas	48
3.2.9.Geomorfología.....	49
3.2.10.Condiciones socio-económicas.....	49
3.3.MATERIALES.....	51
3.3.1.Fase de campo	51
3.3.2.Fase de laboratorio.....	51

3.4.METODOLOGÍA.....	52
3.5.Unidad de análisis, población y muestra (Diseño estadístico)	54
3.5.1.Unidad de análisis.....	54
3.5.2.Población	54
3.5.3.Muestra	54
3.6.Diseño experimental.....	55
3.7.Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	56
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.Características del coagulante obtenido	59
4.1.Proceso de obtención del coagulante natural.....	59
4.2.Efecto de la concentración de coagulante sobre la turbidez.....	62
4.3.Efecto del Volumen del coagulante natural vs la turbidez	65
4.4.Efecto de la agitación (RPM) vs Turbidez	69
4.5.Análisis de la concentración (%), volumen (mL), Agitación (RPM) vs Turbidez (NTU).....	72
4.6.Análisis de la concentración (%), volumen (mL), Agitación (RPM) vs pH	78
4.7.Discusión	82
4.7.1.Efecto del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i> sobre la turbidez	82
4.7.2.Efecto del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i> sobre el pH.....	85
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	89
CAPÍTULO VII. ANEXO O APÉNDICE	98

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1 Principales características de <i>Opuntia Ficus</i>	21
Tabla 2: Clasificación de tamaños de partículas	23
Tabla 3: Características físicas, químicas y biológicas del agua.....	24
Tabla 4: Tipos y rango de tamaño de las partículas típicas que se encuentran en el agua y las aguas residuales.....	29
Tabla 5: Resumen de normas de diseño de un turbidímetro	31
Tabla 6: Unidades de medida para sensores de turbidez, según el sitio web de USGS (USGS, 2013)	32
Tabla 7: Ubicación política y geográfica de toma de muestra de agua	41
Tabla 8: Datos de la Estación Meteorológica.....	43
Tabla 9: Tratamientos en estudio resultado de la combinación de niveles	55
Tabla 11: Balance de masa por cada operación realizada hasta obtener el coagulante.....	59
Tabla 12: Características físico químicas iniciales del agua del río Grande	60
Tabla 13: Resultados de la experimentación.....	61
Tabla 14: Evaluación de la concentración del coagulante natural en condiciones de 1 mL y RPM	62
Tabla 15: Evaluación de la concentración del coagulante natural en condiciones de 3 mL y RPM.	63
Tabla 16: Evaluación de la dosis o volumen del coagulante natural en condiciones del 1 % y RPM.	66
Tabla 17: Evaluación de la dosis o volumen del coagulante natural en condiciones del 3 % y RPM.	67
Tabla 18: Evaluación de la agitación sobre la turbidez en condiciones del 1 % y 1 mL de coagulante natural.	69
Tabla 19: Factores y niveles de los tratamientos.....	73
Tabla 20: Análisis de varianza del análisis factorial e interacciones de las variables: concentración (%), volumen (mL), Agitación (RPM) vs Turbidez (NTU).....	73
Tabla 21: Correlación de los factores agrupados vs la turbidez.....	74
Tabla 22: Remoción de la turbidez	77
Tabla 23: Evaluación de la agitación sobre el pH en condiciones del 1 % y 1 mL de coagulante natural.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1:Esquema de una típica planta de tratamiento de aguas superficiales.....	9
Figura 2: Restablecimiento de partículas	15
Figura 3:Atrapamiento de partículas en un floc	16
Figura 4:Efecto de Puente de las partículas en Suspensión.....	17
Figura 5: Patrón de luz dispersa para partículas.....	27
Figura 6 : Clasificación de las dispersiones según el tamaño de las partículas.....	28
Figura 7: Esquema de un turbidímetro nefelométrico.....	30
Figura 8: Comportamiento del coagulante sobre material particulado del agua superficial	35
Figura 9: Mapa de ubicación.....	42
Figura 10: Distancia de la estación meteorológica al punto de muestreo de agua	44
Figura 11: Precipitación media mensual	45
Figura 12: Temperatura máxima, mínima y promedio mensual	45
Figura 13: Humedad relativa mensual (%)......	46
Figura 14: Dirección y velocidad del viento	47
Figura 15: Ruta de acceso al punto de muestreo de agua.....	48
Figura 16: Efecto de la concentración del coagulante natural (%) en la turbidez (NTU) a un volumen de 1 mL y a diferentes agitaciones RPM.....	63
Figura 17: Efecto de la concentración del coagulante natural (%) en la turbidez (NTU) a un volumen de 3 mL y a diferentes agitaciones RPM.....	64
Figura 18: Efecto del volumen del coagulante natural (mL) en la turbidez (NTU) a una concentración al 1% y a diferentes agitaciones RPM.	67
Figura 19: Efecto del volumen del coagulante natural (mL) en la turbidez (NTU) a una concentración al 3 % y a diferentes agitaciones RPM.	68
Figura 20: Efecto de la agitación (RPM) sobre la turbidez (NTU) en condiciones de la concentración y volumen del coagulante.	71
Figura 21: Diagrama de Pareto para los factores vs turbidez.....	75

Figura 22: Interacción de los factores (concentración, volumen y agitación) vs la turbidez	76
Figura 23: Efecto de los factores en sus diferentes niveles vs la turbidez	77
Figura 24: Efecto de la agitación (RPM) sobre el pH en condiciones de la concentración y volumen del coagulante natural.....	79
Figura 25: Interacción de los factores (concentración, volumen y agitación) vs pH	80
Figura 26: Diagrama de Pareto para los factores vs pH.....	81

Resumen

La población peruana rural en su mayoría no cuenta con agua potable, por tanto planteo a través del presente estudio evaluar el efecto coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* con la disminución de la turbiedad del agua del río Grande en el departamento de Cajamarca para el año 2021, con el propósito de dar solución eco amigable reemplazando a los coagulantes químicos, en tal sentido el objetivo fue cumplido a través de la determinación de valores óptimos en los factores de concentración, volumen, agitación, así mismo se analizó el efecto del coagulante natural en el pH. Las pruebas se realizaron en el laboratorio INNODEVEL, en un largo proceso experimental, se aplicó un diseño multifactorial 2x4x2 con un total de 16 tratamientos y 2 repeticiones para cada tratamiento, finalmente se demostró que la aplicación del coagulante natural en el agua es eficaz porque la remoción de la turbidez más alta se encuentra en una concentración 3% en una dosis 1ml del coagulante natural para las diferentes agitaciones, las cuales fueron 53.08 % (30), 78.13% (60), 74.49% (120) y 79.78% (180); siendo el de 60 y 180 RPM con mayor remoción.

Palabras clave: *Opuntia ficus indica*, coagulante natural, agua.

Abstract

The majority peruvian population rural don't have potable water, therefore I pose through the present study evaluate the effect natural coagulant of de *Opuntia ficus-indica* with the decrease of the turbidity of surface Waters of Big river in Cajamarca departamento for the year 2021 whit the porpose of give solution eco friendly replacing chemical coagulants , in this sense the objective was fulfilled through the determination of optimal values in the factors of concentration, volume, agitation , the effect of the natural coagulant was also analyzed in the pH. The analizes had done in the laboratory INNODEVEL in a long experimental process, was applied a multifactorial design 2x4x2 in total of sixteen processing and two repetitions for each treatments, finally proved: that the application of the natural coagulant in surface water is effective because the removal the turbidity, is was found a 3% concentration in a 1ml dose of the natural coagulant for the different agitations, which were 53.08% (30), 78.13% (60), 74.49% (120) and 79.78% (180); being the one of 60 and 180 RPM with greater removal.

Keywords: *Opuntia ficus indica*, natural coagulant, water.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

“En el mundo, una persona de cada 5 no tiene acceso al agua potable, más de 30000 niños mueren antes de alcanzar los 5 años ya sea por hambre o por enfermedades que podrían ser evitadas fácilmente con un adecuado tratamiento de agua potable, el agua es un recurso cada vez más limitado y caro, cuyo consumo ha aumentado notablemente en algunas regiones del planeta, su escasez podría ser una causa más de conflictos, además, el agua es un recurso insustituible por sus propiedades y componentes” (González, 2015). Esta problemática es sumada a la existente en el procesos de tratamiento de agua potable, en el cual, se añaden coagulantes y floculantes químicos que “están asociadas a condiciones neuropatológica” (Lugo-Arias , y *et. al*, (2020); además de “generar un exceso de lodos sedimentados con una composición agresiva para el suelo” (Ribeiro, et al 2015).

El presente estudio, tiene como principal objetivo, evaluar el efecto del coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* en la disminución de la turbiedad del agua del río Grande en el departamento de Cajamarca para el año 2021; por lo que se plantea la siguiente pregunta *¿Cuál es el efecto del coagulante natural de Opuntia ficus - indica en la disminución de turbiedad en el agua del río Grande?*, y se conjetura que: El Coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* tiene un **efecto eficaz** en la disminución de la turbiedad del agua del río Grande; para ello, se determinó las concentraciones, volúmenes y agitaciones óptimas para la remoción o disminución de la turbidez del agua del río Grande.

La investigación se ha realizado en el laboratorio INNODEVEL, donde se utilizaron diversos insumos, equipos y materiales, que permitieron preparar el coagulante natural a una concentración de 1% y 3%, seguidamente se aplicaron estas concentraciones en volúmenes de 1ml y 3ml en revoluciones de 30, 60,120,180 RPM, obteniendo un diseño experimental con arreglo multifactorial 2x4x2 de 16 tratamientos con doble repetición, a los datos obtenidos se le aplicaron dos pruebas de significancia: t de student para analizar la concentración y volumen, y el análisis de varianza ANOVA para el estudio de la agitación, se utilizaron como técnicas e instrumentos fichas de laboratorio, materiales y equipos de laboratorio.

Finalmente el presente trabajo esta constituido por siete capítulos, el primero abarca la introducción, el segundo habla acerca de la revisión bibliográfica o marco teórico, que integra antecedentes, fundamentos en los que se basa la investigación con definición de términos básicos, el capítulo tres, presenta la ubicación, aspectos generales de la zona de estudio, materiales y equipos utilizados, metodología, unidades de análisis, el capítulo cuatro abarca los resultados y la discusión de los mismos, en el capítulo cinco se precisan las conclusiones y recomendaciones del estudio, finalmente los siguientes capitulos constan de referencias bibliográficas y anexos respectivamente.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.Objetivo General

- Evaluar el EFECTO DEL COAGULANTE NATURAL DE *Opuntia ficus-indica* EN LA DISMINUCIÓN DE TURBIEDAD EN EL AGUA DEL RÍO GRANDE, CAJAMARCA 2021.

1.2.Objetivos Específicos

- Determinar la concentración óptima del coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con relación a la disminución de la turbidez del agua del río Grande.
- Estimar la dosis óptima del coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con relación a la disminución de la turbidez del agua del río Grande.
- Determinar la agitación óptima del coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con relación a la disminución de la turbidez del agua del río Grande.
- Establecer el porcentaje de disminución de la turbidez como efecto del coagulante natural *Opuntia ficus-indica*.
- Valorar la influencia de coagulante natural *Opuntia ficus-indica* en el pH del agua del río Grande.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Costa (2017), estudió las “Cactaceas *Opuntia cochenillifera* y *Opuntia ficus-indica* como coagulantes y la especie *Luffa cylindrica* como adsorbente. Los coagulantes se evaluaron en pruebas de laboratorio con agua que contenía *M. aeruginosa*. El extracto de *O. cochenillifera* mostró un mejor rendimiento por lo que fue seleccionado para pruebas de laboratorio en jardinería seguidas de filtración. Los filtros operados en régimen continuo mostraron mejores resultados en la eliminación de microcistina (75,79%), color aparente (79,68%) y turbidez (79,15%). Sin embargo, los filtros operados en régimen intermitente mostraron mejor eficiencia en la remoción de *M. aeruginosa* (96.62% - 1.985 Log).” Las pruebas de adsorción mostraron que “*Opuntia ficus-indica* en una temperatura ambiente y pH neutro no mostró potencial de adsorción de microcistina. Para pruebas a gran escala, se construyeron dos filtros domésticos lentos (FLD) hechos de cloruro de polivinilo (cloruro de polivinilo - PVC). Un filtro se hizo funcionar en modo continuo y el otro en modo intermitente. En esta etapa del trabajo no se utilizaron coagulantes ni adsorbentes. El filtro operado en flujo continuo mostró resultados superiores para la remoción de *M. aeruginosa* (99.59% - 1.998 log), color aparente (97.73%) y turbidez (84.39%). El régimen de operación y el tiempo de permanencia en los filtros no influyeron en la eficiencia del tratamiento.” El agua filtrada presenta unas características acordes a las previstas en la normativa de color aparente, sin embargo, no por turbidez. “El agua filtrada mostró concentraciones de microcistina por debajo de 1.0 µg L-1 para ambos filtros. En las

pruebas ecotoxicológicas con *Chironomus xanthus*, el agua filtrada no presentó toxicidad.”

Morejón (2017), utilizó “el mucílago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en estado fresco para la clarificación del agua de consumo humano en una comunidad del país de Ecuador”. Sus pruebas los realizó a nivel de laboratorio donde uso el agua cruda proveniente del desarenador de la planta de tratamiento de la comunidad. “Las pruebas de tratamiento de agua realizadas, permitieron evaluar la eficacia del mucílago de tuna en el proceso de coagulación-floculación de agua cruda, donde los parámetros medidos para la clarificación del agua fueron: el pH, la turbidez, dureza, color, sólidos disueltos totales”. Donde confirmaron que “el uso del mucilago de tuna en una relación volumétrica 25% mucilago - 75% agua a tratar actúa efectivamente como proceso de coagulación- floculación”. Por último, “el análisis de costo-beneficio demuestra el éxito de la utilización del mucílago de tuna ya que se aprovecha la materia prima existente y su adquisición es menor frente al coagulante químico.”

Wan et al. (2018), en su estudio, el mucílago de *Opuntia ficus-indica*, un tipo de cactus, “se utilizó como biocoagulante para tratar el agua del estanque de relaves de una industria de procesos de arenas. Se comparó el rendimiento de *Opuntia ficus-indica* con coagulantes convencionales como el alumbre y el cloruro férrico para eliminar la turbidez y el carbono orgánico disuelto (COD)”. No obstante a una “dosis más alta de 900 mg / L, en comparación con la de alumbre (190 mg / L) y cloruro férrico (104 mg / L), *Opuntia ficus-indica*, podría eliminar el 98% de la turbidez del agua del estanque de relaves. La remoción de COD fue baja para todos los coagulantes y varió de 15 a 28%, pero la acidificación del efluente, la mejora de la

remoción de COD es significativa”. El análisis químico mostró “la presencia de ácidos nafténicos oxidados y grupos carboxílicos en la superficie de los sólidos y flóculos. La velocidad de sedimentación de los flóculos fue de 6.28 cm / min, 4.54 cm / min y 3.01 cm / min generado por *Opuntia ficus-indica*, alumbre y cloruro férrico, respectivamente. De varios metales pesados presentes, *Opuntia ficus-indica* mostró una mayor eliminación de arsénico (64%) en comparación con el alumbre y el cloruro férrico, mientras que el alumbre y el cloruro férrico mostraron una eliminación de fósforo significativamente mayor en comparación con *Opuntia ficus-indica*. Se usó carbón activado como el paso final del tratamiento para eliminar los orgánicos residuales; el agua residual tratada con *Opuntia ficus-indica* mostró una capacidad de adsorción de carbón activado aproximadamente 1,8 veces mayor que el tratado con alumbre.”

Según Deshmukh y Hedao (2019), en su investigación, “especifican que los métodos de tratamiento con coagulantes pueden resultar inadecuados para su aplicación en aspectos como la no biodegradabilidad y la alteración del pH en el postratamiento”. Por ello, realizaron una extensa investigación sobre el uso de material vegetal biológico como coagulantes. “La aplicación del cactus *Opuntia ficus-indica*, como biocoagulante para la remoción de turbidez de efluentes de aguas residuales municipales ha sido efectiva, porque la cantidad de dosis de la adición de cactus se correlacionó con la turbidez de las aguas residuales. Dependiendo de la turbidez de las aguas residuales, la remoción de turbidez varía de 70 a 90% para dosis de 30 a 100 mg / L. De este estudio, la remoción de turbidez alta indica que el cactus tiene el potencial de aplicación de tratamiento de aguas residuales.”

Inga (2019), a través de su estudio de investigación, tomó una muestra no probabilística de las aguas de un río, “obteniendo resultados iniciales de coliformes totales 70 000 NMP/mL y 16,4 NTU de turbidez”. “Para el tratamiento de sus aguas, se liofilizo la penca y se realizó tres experimentos”. Los resultados mostraron tres conclusiones: “la primera y segunda muestra que los coliformes totales se incrementaron, se asume a la presencia de carbohidratos en la penca, medio donde se desarrollan”; y “la tercera muestra que la concentración de 5 mg/L obtiene una disminución de coliformes totales del 89 %, y la turbidez disminuye en un 89, 69 % a una concentración de 60 mg/L”.

2.2. Bases teóricas

La estructura teórica del estudio sigue el presente esquema: 1) Importancia del tratamiento del agua y nuevas alternativas de tratamiento, 2) Coagulante natural: *Opuntia ficus-indica*, 3) Parámetros del agua de río: La turbidez, y finalmente, 4) El efecto del coagulante natural sobre la turbidez del agua de río. Cada ítem aporta una contextualización (Punto 1); descripción de las variables (Punto 2 y 3) y una interrelación entre variables (Punto 4), pues el propósito del estudio es comprender el efecto del coagulante natural sobre la eliminación de los sólidos suspendidos o disueltos del agua de río para mejorar la claridad y la efectividad del tratamiento y así utilizarla para consumo humano.

2.2.1. Importancia del tratamiento del agua

El tratamiento del agua es relevante por el motivo que indica, Bhalchandra, (2019): “El tratamiento del agua potable es muy importante para obtener agua segura para satisfacer las necesidades humanas en cualquier región del mundo y esto es especialmente crítico en

los países en desarrollo. Esto se debe principalmente a que las naciones de bajos ingresos no pueden permitirse tecnologías costosas para el tratamiento del agua potable y la falta de electricidad en la mayoría de estas áreas es otro factor disuasorio en la aplicación de técnicas rutinarias de tratamiento del agua. Por lo tanto, solo los métodos que son simples, fáciles de adoptar, económicos y fáciles de usar pueden considerarse metodologías útiles para obtener agua potable segura y fresca en los países en desarrollo.” (Bhalchandra, 2019).

Debido a que, “el tratamiento del agua de río tiene como principal propósito proteger la salud pública” (Howe, Hand, Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, 2012, p. 5); existen dos elementos que son indispensables al momento de evaluar la calidad del agua tratada para fines de consumo humano. Primero, “las regulaciones legales que el país exige, para Perú tenemos el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano - DS N° 031-2010-SA. y DS N° 004-2017-MINAM, que Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.” Ambas legislaciones con parámetros específicos de cumplimiento, siendo la turbidez una de ellas. Y segundo, “las competencia y compromisos que los ingenieros de tratamiento de agua deben equilibrar”, (Howe, Hand, Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, 2012, p. 5) para controlar con éxito el sistema de tratamiento, pues para obtener un agua de calidad es importante la constante operación y mantenimiento del sistema; por esta razón, se buscan tecnologías que sean de fácil operación y bajo costo. De ahí que, Droste y Gehr, (2018) mencionan:

El tratamiento convencional es el tren de procesos más utilizado para controlar los niveles de turbidez y microbios en el agua potable de superficie. El orden y la composición precisos de los elementos de tratamiento convencionales no son siempre los

mismos, pero comúnmente incluyen alimentación química, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. “Una deficiencia o un conjunto de deficiencias en uno o más componentes del tratamiento convencional provocará típicamente una evaluación del potencial de mejora”. (Droste y Gehr, 2018)

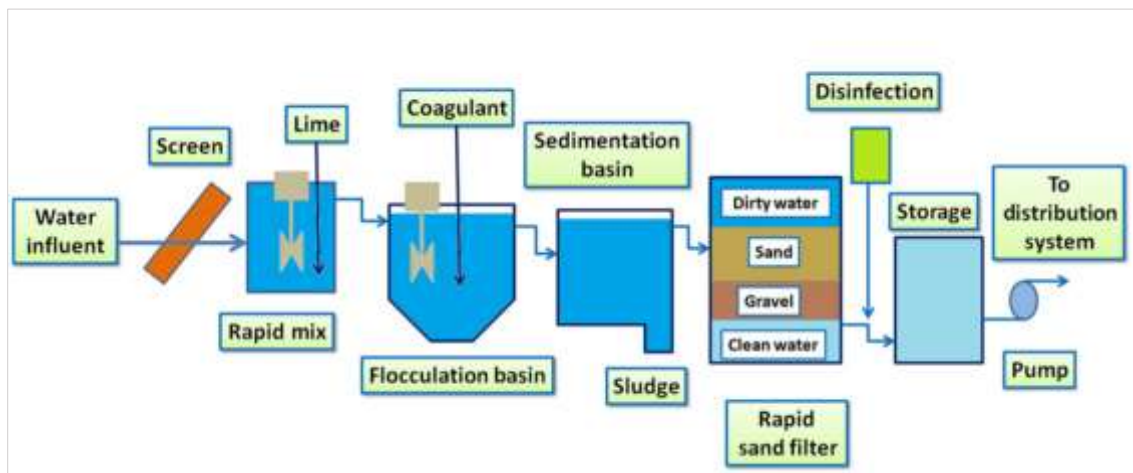
2.2.1.1. Planta de tratamiento de agua potable

Para Abu (2018), la planta de tratamiento de agua potable se clasifica en:

“Cámara de desinfección que se utiliza para una alta calidad de agua y asegurar que el agua no contenga patógenos, de igual manera se encuentra la cámara de filtración: se usa generalmente para tratar el agua y finalmente la cámara de sedimentación que está diseñada para eliminar olores, color y turbidez como bacterias y otros contaminantes.”

En la figura 1 se observa un esquema típico de una planta de tratamiento convencional para agua.

Figura 1
Esquema de una típica planta de tratamiento de aguas superficiales



Nota: Esquema presentado en el libro “Fundamentals of Quorum Sensing, Analytical Methods and Applications in Membrane Bioreactors” (Abu, 2018).

Una explicación más profunda de cada cámara o proceso le encuentra en Reham Abu, (2018) que dice:

“Para una planta de tratamiento de filtración, también existe una mezcla rápida: donde los productos químicos se agregan y se dispersan rápidamente a través del agua, seguidamente se da la floculación, donde se agregan al agua productos químicos como el alumbre (sulfato de aluminio) para neutralizar eléctricamente las partículas y para hacer que se acerquen entre sí y formen partículas grandes llamadas flóculos que podrían sedimentarse más fácilmente”, es allí donde se realiza la sedimentación, “ya que los flóculos se asientan en el fondo del sedimentador debido a su peso, sin embargo aquellas partículas que no lograron ser eliminadas, serán filtradas una vez que el flóculo se ha asentado en el fondo del sedimentador, el agua clara en la parte superior pasará a través de filtros de diferentes composiciones (arena, grava y carbón) y tamaños de poros para eliminar las partículas finas que no se asentaron, como como polvo, parásitos, bacterias, virus y productos químicos, ya luego para la desinfección, implica la adición de productos químicos para matar o reducir el número de organismos patógenos remanentes.” (Abu, 2018).

En ocasiones, cuando un sistema de tratamiento está operativo es difícil e imposible cambiar el diseño por uno más sofisticado o incluso de menor costo; hacer ello, conllevaría a realizar gastos descomunales. Sin embargo, no está exenta de realizar cambio de material, reactivos, entre otros; por ejemplo, el cambio de cloración de pastillas a gas, o la utilización de coagulantes naturales por los químicos, etc. Estas modificaciones, podrían llegar a ser beneficiosas o perjudiciales para el sistema de

tratamiento, es por ello, que se exploran nuevos productos o materiales en cada proceso unitario con el fin de aplicar el más efectivo y el de más bajo costo.

Nemerow, Agardy, Sullivan, y Salvato, (2009) mencionan que las tecnologías del tratamiento del agua ha ido evolucionando de tal manera que los cambios no ocasionan efecto negativos, pues ellos dicen:

“Hoy en día, las tecnologías más recientes, como las membranas poliméricas de baja presión, han mejorado la capacidad de filtrar las impurezas del agua cruda y, en última instancia, reemplazarán a los filtros de arena. De manera similar, las prácticas de desinfección han mejorado para equilibrar el uso del químico; una dosis suficiente para destruir los microorganismos, pero lo suficientemente baja como para no producir subproductos halogenados nocivos.” (Nemerow, Agardy, Sullivan, y Salvato, 2009, p. 134)

De esta manera, los sistemas de tratamientos producen nuevas formas de operación con productos menos nocivos que los convencionales.

2.2.1.2. Tecnologías alternativas de tratamiento del agua

2.2.1.2.1. Microesfuerzo

El microesfuerzo es un “proceso diseñado para reducir los sólidos en suspensión, los insectos y los organismos molestos, incluido el plancton, en el agua. La superficie filtrante puede consistir en tejidos muy finos de acero inoxidable, nailon, bronce u otro material resistente sobre un tambor giratorio. El agua fluye hacia el tambor, que está cerrado en el otro extremo, y sale a través de la superficie de filtrado.” (Nemerow, Agardy, Sullivan y Salvato, 2009, p. 146).

2.2.1.2.2. Filtro de arena a presión

Un filtro de presión es similar en principio al “filtro rápido de arena por gravedad, excepto que está completamente encerrado en un tanque de acero cilíndrico vertical u horizontal a través del cual se filtra el agua a presión. La tasa de filtración normal es de 2 gpm/ft² de arena. Se utilizan tasas más altas.” (Nemerow, Agardy, Sullivan, y Salvato, 2009, p. 160).

2.2.1.2.3. Tratamiento con ozono

“El tratamiento con ozono en concentraciones de 1,0 a 1,5 mg/l se ha utilizado durante muchos años como desinfectante y como agente para remover el color, el sabor y los olores del agua potable. Elimina o controla de manera efectiva los problemas de color, sabor y olor que no se solucionan con otros métodos de tratamiento; controla la formación de subproductos de la desinfección; y mejora la floculación de las aguas superficiales en bajas concentraciones.” (Nemerow, Agardy, Sullivan, y Salvato, 2009, p. 178).

De esta manera, podemos hablar de más tratamiento que han ido evolucionando en paralelo con sus costos, pues cada vez el costo es mayor e imposible de implementarlo en alguna comunidad o ciudad de bajo recursos; sin embargo, han aparecido productos alternativos y naturales que ayudan en el tratamiento del agua. El proceso unitario con mayor cambio es el sedimentador, después de la cloración, pues se entiende que “*consiste en promover condiciones de reposo en el agua o turbulencia baja, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas; Este proceso se realiza en los desarenadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con la inyección de coagulantes y*

floculantes” (Vargas, 2004). De ahí que, la sedimentación con coagulación es uno de los temas más investigados en la ingeniería de tratamiento de aguas, y esta es la razón de continuar investigando en la aplicación de nuevos coagulantes, principalmente, de origen natural, ya que, tienen bajo costo, eficacia aceptable y baja generación de subproductos nocivos.

2.2.2. Coagulante natural: *Opuntia ficus-indica*

Tal como se mencionó anteriormente, la coagulación ejecutada en los sedimentadores son algunos procesos unitarios que sufren cambios de reactivos, puesto que, se busca precipitar la mayor cantidad de sólidos. Para tener una comprensión más clara sobre la coagulación es necesario conocer su definición, sus propiedades y los tipos que la componen (naturales y sintéticos).

2.2.2.1. ¿Qué es la coagulación?

Describir la definición de la coagulación en ocasiones es difícil, pues, Bratby, (2016) indica que *“es evidente que parte de la confusión ha sido aportada por la propia industria de tratamiento de agua, que ha utilizado todo tipo de definiciones propias”*(p. 5). No obstante, este estudio se basó en las siguientes definiciones:

Definición 1: La coagulación es “el proceso mediante el cual se efectúa la desestabilización de una suspensión o solución dada. Es decir, la función de la coagulación es superar aquellos factores que promueven la estabilidad de un sistema dado.” (Bratby, 2016, p. 6).

Definición 2: La coagulación implica la “adición de un coagulante químico o coagulantes con el fin de acondicionar la materia suspendida, coloidal y disuelta para

su procesamiento posterior por floculación o para crear condiciones que permitan la eliminación posterior de partículas y materia disuelta.” (Howe, Hand, Crittenden, Trussell, y Tchobanoglous, 2012, p. 140)

Entonces, *la coagulación es un proceso que tiene la finalidad de acondicionar (desestabilizar), mediante un coagulante natural o sintético, la materia suspendida, coloidal y disuelta para que luego se removida o eliminada.* Esto indica que la coagulación implica lo siguiente: *1) la desestabilización de pequeñas partículas suspendidas y coloidales; 2) adsorción y/o reacción de porciones de la forma orgánica natural (NOM) coloidal y disuelta a partículas. 3) creación de precipitados floculantes que barren el agua atrapando pequeños materiales suspendidos, coloidales y disueltos a medida que se asientan.* (Howe, Hand, Crittenden, Trussell y Tchobanoglous, 2012, p. 141). En consecuencia, el coagulante es el responsable de acelerar la formación de partículas, este fenómeno sucede por el mecanismo que contiene el producto.

2.2.2.2. Mecanismos de coagulación

Andia (2000) presenta los siguientes mecanismos de coagulación:

2.2.2.2.1. Compresión de la doble capa

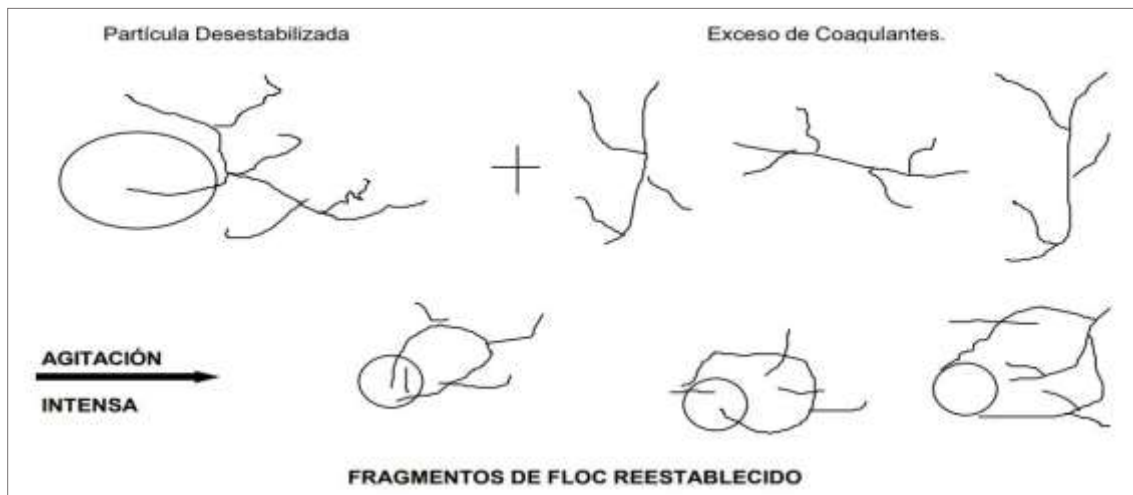
“Cuando dos partículas semejantes se aproximan, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y se precipitan rápidamente con *el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante*” (Andia, 2000).

2.2.2.2. Adsorción y neutralización de cargas

El comportamiento de las partículas coloidales está en función a su carga negativa de su superficie; estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran disueltas en el agua y forman una capa que están adheridas al coloide. “El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético – potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua” (Andia, 2000). Luego de la “teoría de la doble capa, la coagulación es la considerada como el proceso de anulación con mayor potencial, esta con la adición de productos de coagulación-floculación, además de una fuerza de mezcla no natural, ya que, no es suficiente; de ahí que se requiera de una energía complementaria necesaria como la agitación mecánica o hidráulica.” Cuando en ocasiones, “se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la re-estabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original.” (Andia, 2000).

Figura 2

Restablecimiento de partículas



Nota: Tratamiento de agua Coagulación y Floculación, (Andia, 2000)

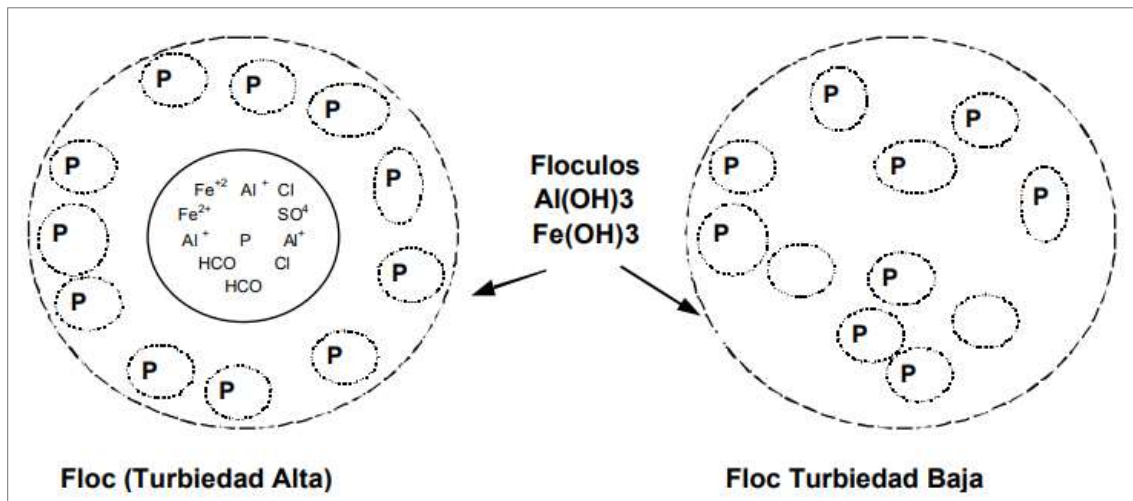
2.2.2.2.3. Atrapamiento de partículas en un precipitado

Cuando “las partículas coloidales se desestabilizan son atrapadas dentro de un floc; esta desestabilización se debe a la adición de cantidades suficientes de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$ ” (Andia, 2000). Los aniones y partículas coloidales presentes aceleran la formación del precipitado o sedimentado.

Las partículas coloidales suspendidas, como se indicó en la implicación 1); “*juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida*” (Andia, 2000). Esto quiere decir, que una concentración importante de partículas en suspensión requiere menor cantidad de coagulante, esto dependiendo, del tipo de coagulante: natural o sintético.

Figura 3

Atrapamiento de partículas en un floc



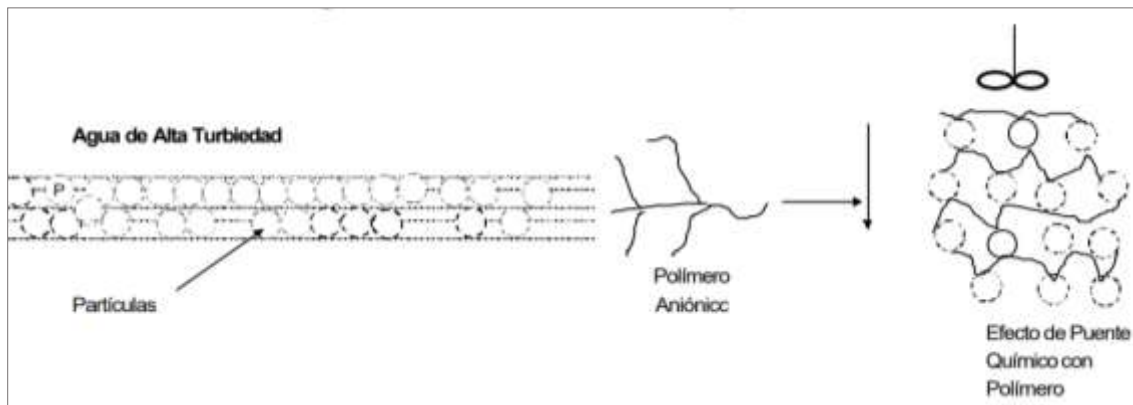
Nota: Tratamiento de agua Coagulación y Floculación, (Andia, 2000)

2.2.2.2.4. Adsorción y puente

Se logra obtener un tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. “Este fenómeno es explicado por la teoría del puente; es decir, las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales” (Andia, 2000). “La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas; por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman *el puente* entre las partículas coloidales. Esto puede tener una restabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.” (Andia, 2000).

Figura 4

Efecto de Puente de las partículas en Suspensión



Nota: Tratamiento de agua Coagulación y Floculación, (Andia, 2000)

2.2.2.3. Tipos de coagulantes en el agua

Los coagulantes se dividen en dos grupos generales de compuestos: los coagulantes metálicos y los polímeros. Para fines de esta investigación, el segundo grupo son de mayor prioridad, eso no quiere decir, que no podamos mencionar algunos del tipo metálico.

2.2.2.3.1. Coagulantes metálicos

Los coagulantes metálicos comúnmente utilizados se dividen en dos categorías generales: los basados en aluminio y los basados en hierro. El primer grupo está conformado por: “*sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, aluminato de sodio, clorhidrato de aluminio, cloruro de polialuminio, cloruro de sulfato de polialuminio, cloruro de silicato de polialuminio y formas de cloruro de polialuminio con polímeros orgánicos.*” (Bratby, 2016, p. 33). Y el segundo grupo está conformado por: “*sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico, sulfato de cloruro férrico, sulfato poliférrico y sales férricas con polímeros orgánicos.*” (Bratby, 2016, p. 34). Otros productos químicos utilizados como coagulantes incluyen cal hidratada y carbonato de magnesio.

2.2.2.3.2. Polímeros

Los polímeros se refieren a una gran variedad de compuestos macromoleculares solubles en agua: naturales o sintéticos, que tienen la capacidad de desestabilizar o mejorar la floculación de los constituyentes de una masa de agua.

Una molécula de polímero se puede describir como una serie de unidades químicas repetitivas que se mantienen unidas por enlaces covalentes (polímero, de la traducción latina literal, significa muchas partes). “Si las unidades que se repiten tienen la misma estructura molecular, el compuesto se denomina homopolímero. Sin embargo, si la molécula está formada por más de un tipo de unidad química repetitiva, se denomina copolímero. Las unidades repetidas individuales se denominan monómeros y el peso molecular de la molécula de polímero es la suma de los pesos moleculares de los monómeros individuales. El número total de unidades monoméricas se denomina grado de polimerización. Los polielectrolitos son clases especiales de polímeros que contienen

ciertos grupos funcionales a lo largo de la columna vertebral del polímero que pueden ser ionizables. Si están presentes, cuando los grupos ionizables se disocian, las moléculas de polímero se cargan positiva o negativamente, según los grupos funcionales específicos presentes y, por lo tanto, se denominan polielectrolitos catiónicos o aniónicos, respectivamente.” (Bratby, 2016, p. 56).

Por lo tanto, los coagulantes de origen natural están conformados por cadenas largas que, al ser disociadas, forman polímeros de carga positiva o negativa, de ahí que, algunos coagulantes naturales tengan la capacidad de realizar una coagulación – floculación al mismo tiempo. O como dice Bratby (2016) que “*los polímeros naturales se han utilizado durante mucho tiempo como floculantes.*” (p. 57).

– *Polielectrolitos naturales*

Son llamados polímeros o polielectrolitos naturales, tiene la ventaja de “*que son virtualmente libres de tóxicos; biodegradable en el medio ambiente; y los productos crudos a menudo están disponibles localmente, mientras que los coagulantes industrializados pueden no estarlo.*” (Bratby, 2016, p. 58). Entre estos polimeros tenemos: Semillas del árbol de moringa oleifera, almidones, goma guar, quitosano, Nopales, entre otros. Siguiendo nuestro estudio nos basamos en *Opuntia ficus-indica*.

2.2.2.4. Mecanismos de coagulación.

“Las partículas pueden agregarse y sedimentarse de la solución a través de cuatro mecanismos básicos: compresión de doble capa, floculación de barrido, adsorción y neutralización de carga, y adsorción y formación de puentes entre partículas.” (Miller, Fugate, Craver, Smith, y Zimmerman, 2008, p. 4275).

2.2.2.4.1. Compresión de doble capa

“La presencia de sales puede causar la compresión de la doble capa, lo que da como resultado la desestabilización de las partículas, por lo que las interacciones electrostáticas repulsivas son superadas por las fuerzas atractivas de van der Waals.” (Miller, Fugate, Craver, Smith, y Zimmerman, 2008, p. 4275).

2.2.2.4.2. Floculación de barrido

“La floculación de barrido, o atrapamiento en el precipitado, ocurre cuando el coagulante precipitante atrapa partículas suspendidas dentro de un flóculo coloidal a medida que se forma o sedimenta.” (Miller, Fugate, Craver, Smith, y Zimmerman, 2008, p. 4275).

2.2.2.4.3. Sorción y neutralización de carga

“La desestabilización de partículas a través de la neutralización de carga puede ocurrir cuando las partículas suspendidas en solución absorben iones (fuerza iónica) con carga opuesta.” (Miller, Fugate, Craver, Smith, y Zimmerman, 2008, p. 4275).

2.2.2.4.4. Sorción y formación de puentes entre partículas

“La formación de puentes puede ocurrir cuando un coagulante forma una cadena polimérica que se puede unir a múltiples partículas, de modo que las partículas se unen al coagulante y no es necesario que entren en contacto entre sí.” (Miller, Fugate, Craver, Smith, y Zimmerman, 2008, p. 4275).

2.2.2.5. Opuntia Ficus Indica como coagulante natural del agua

Opuntia o Nopales son especies que contienen polielectrolitos o cargas catiónicas o aniónicas que hace que estos compuestos sean útiles para la limpieza del agua o disminución de los materiales en suspensión, disueltos o coloidales.

Para Castro, (2009) “la tuna es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50cm de diámetro.” Las variedades en el Perú más usuales “desarrollan portes de aproximadamente 1,5 a 2,00m de altura. El tallo 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, a diferencia de otras especies de cactáceas.” El primer nombre español es *Higo de las Indias*, que alude a su origen, las *Nuevas Indias* y de allí su primer nombre científico: *Cactus ficus-indica* L.” (p. 9).

A continuación, se describen sus características científicas:

Tabla 1

Principales características de Opuntia Ficus

Reino:	Planta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Cactaceae
Subfamilia:	Opuntioideae
Tribu:	<i>Opuntieae</i>
Género:	<i>Opuntia</i>
<i>Subgénero:</i>	: <i>Opuntia</i>
Nombre binomial:	<i>O. ficus-indica</i> (L.) 1768 Mill

Nota: Propiedades funcionales de hoy, (Ramirez, 2017)

La composición química del mucílago de la paleta de tuna está compuesta por un carbohidrato complejo. “Entre los monómeros contenidos en la cadena se encuentran:

L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-Xilosa y ácido galacturónico. La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo con diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio), entre otros factores.” (Silva, 2017).

“La savia de ciertas especies de cactus (*Opuntia*) en Perú y Chile, así como también en Haití, produce un polielectrolito aniónico que se ha utilizado para clarificar el agua, pero más eficazmente como ayuda floculante.” (Bratby, 2016, p. 57). Así también, “los antepasados mexicanos, empleaban el mucílago del nopal o tuna (*Opuntia ficus-indica*) como una fuente de depuración para la limpieza del agua.” (Mannise, 2012). Con la “aplicación de este tipo de coagulante vegetal se logra minimizar recursos económicos que a veces es el principal factor limitante al momento de la desinfección del agua para consumo humano. Requiere de bajas dosis de aplicación para contrarrestar los agentes que polucionan el agua y que representan una eficacia similar o superior al Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)” (Guzmán, 2013).

2.2.2.5.1. Características de Opuntia Ficus Indica o paleta de tuna

Para fines didácticos se ha consultado en otras fuentes acerca de los valores registrados de diferentes parámetros en estudios similares que han podido realizar la caracterización a detalle de la *Opuntia Ficus Indica*, a continuación, se presentan los siguientes valores:

Tabla 2*Clasificación de tamaños de partículas*

Parámetro	Valor	Otros valores en estudios	Referencias
pH	7.85	7.8	Costa, U. (2017) “Desempeño de coagulantes naturales, adsorbente alternativo e filtros lentos domiciliarios no tratamiento de águas com <i>Microcystis aeruginosa</i> e microcistina: alternativas tecnológicas para comunidades isoladas”
Color	14 NTU	15 NTU	Morejón, B. (2017). “Utilización del mucflago de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de pusir grande, provincia del Carchi”
Densidad	1	1	Wan, J., Chakraborty, T., Chunbao, C., & Madhumita, R. (2018). “Treatment train for tailings pond water using <i>Opuntia ficus-indica</i> as coagulant”

Nota: Elaboración propia

2.2.3. Parámetros del agua de río: La turbidez

La utilidad del agua depende de su calidad, por ejemplo, el agua tratada es utilizada para el regadío o la recreación, también el agua tratada de un río es utilizada para la potabilización, y así, dependiendo de su calidad. Pero ¿cómo saber si la calidad del agua es buena o mala? ¿Qué criterios o parámetros se toma para saber la calidad del agua? ¿Las condiciones iniciales del agua cruda son aptas para el consumo humano? Cada pregunta se responderá conforme se vaya tratando el tema.

“Las características físicas, químicas y biológicas convencionales del agua y las aguas crudas” (Mines, Jr., 2014, p.103), son relevantes para determinar el estado del agua, pues, depende de estas condiciones para proponer un tratamiento que remueva los contaminantes existentes en el recurso hídrico. En la tabla 3, se muestra algunos parámetros para conocer las condiciones del agua.

Tabla 3*Características físicas, químicas y biológicas del agua*

Físico	Químico inorgánico	Químico orgánico	Biológico
Color	Amoníaco	DBO5	bacterias
Olor	Nitrito	DQO	helmintos
Sólidos	Nitrato	TOC	protozoos
Temperatura	nitrógeno orgánico	Compuestos orgánicos específicos	virus
Absorbancia y transmitancia	Nitrógeno Kjeldahl total		
Turbiedad	fósforo total		
	fósforo inorgánico		
	fósforo orgánico		
	Rieles		
	Alcalinidad		
	pH		
	Oxígeno disuelto		

Nota: Extraído del Chapter 3: Water and wastewater characteristics, (Mines, Jr., 2014, p. 104). Los parámetros son propuestos, sin embargo, si se requiere un tratamiento más rigurosos como el caso del agua potable o para consumo humano, se debe seguir los requerimiento que exigen la normatividad.

Los parámetros físicos, químicos y biológicos mostrados en la tabla 3 son los más relevantes para identifica las condiciones del agua; aunque, podemos describir a cada uno, esta investigación se centra en la turbidez, pues este parámetro indica el material en suspensión y disuelto que el agua puede arrastrar, aún más si se trata de un río; pues se busca remover la mayor cantidad de material en suspensión mediante una coagulante natural.

2.2.3.1. ¿Qué es la turbidez?

La turbidez se tiene las siguientes definiciones:

Definición 1: “La turbidez es una medida del grado en que la luz es dispersada o absorbida por los sólidos coloidales y suspendidos en el agua.” (Mines, Jr., 2014, p. 116).

Definición 2: “La turbidez es una medida de la dispersión de la luz por partículas suspendidas en un medio como el agua.” (Bratby, 2016, p. 422).

Entonces, la turbidez se caracteriza por dos elementos importantes: 1) la dispersión de la luz y 2) los sólidos coloidales o suspendidos en el agua. Esto quiere decir, que los sólidos influyen en la turbidez, pero veamos más de cerca cada elemento.

2.2.3.1.1. Principios de la medición de la turbidez: la dispersión de la luz

Cuando la luz se dirige hacia una suspensión de partículas, la intensidad de la luz se reduce debido a la absorción y dispersión de la luz. *“La absorción da como resultado la pérdida de energía de la luz que se transfiere al calor. La absorción de longitudes de onda de luz específicas se manifiesta como un color característico.”* (Bratby, 2016, p. 428).

A diferencia de la absorción, “la dispersión de la luz no produce una pérdida neta de energía del haz de luz y da como resultado una radiación de energía en todas las direcciones a la misma frecuencia que la radiación de la luz incidente. La intensidad de la luz dispersada depende del índice de refracción de las partículas y de la diferencia entre los índices de refracción de las partículas y el agua u otro medio de suspensión.” El índice de refracción del agua pura “es de aproximadamente 1.33, aunque el valor cambia con la temperatura y la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos. Los efectos de la temperatura son relativamente menores, dentro de los rangos comúnmente encontrados en el tratamiento del agua. El efecto de los compuestos disueltos es generalmente aumentar el índice de refracción

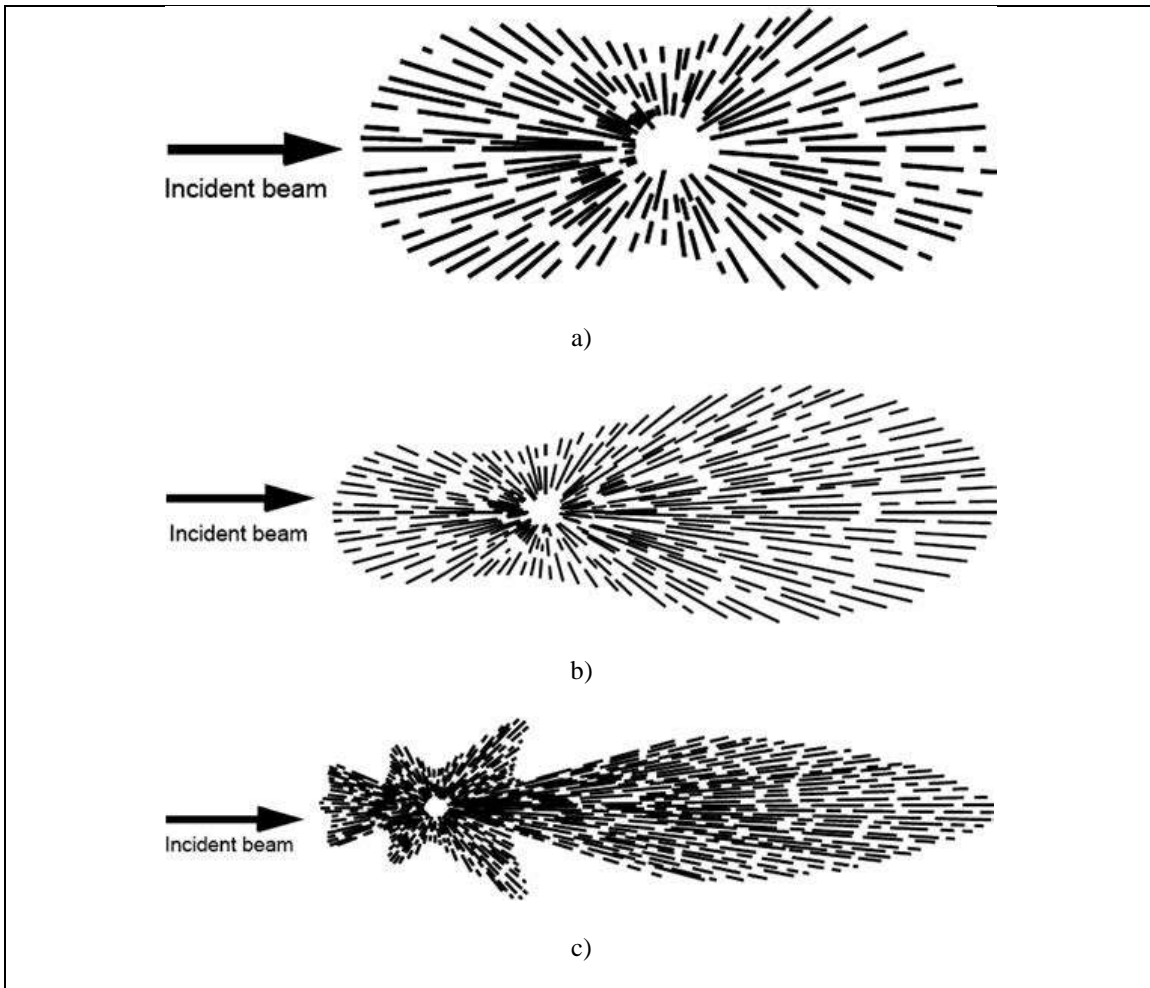
del agua. Para un tamaño de partícula y una longitud de onda de luz incidente dados, la turbidez disminuye al aumentar el índice de refracción del medio de suspensión.”

(Bratby, 2016, pág. 428)

En consecuencia, la turbidez aumenta a medida que el tamaño de las partículas aumenta, esto quiere decir, que la dispersión de la luz está en función del tamaño de la partícula, de esta manera, cada vez que encontremos aguas con alto contenido de sólidos totales: sólidos suspendidos, disueltos y volátiles; la turbidez será mayor. En las figuras se muestra la dispersión de la luz para diferentes tamaños de partículas.

Figura 5

Patrón de luz dispersa para partículas



Nota: a) Patrón de luz dispersa para partículas muy pequeñas (menos del 10% de la longitud de onda de la luz incidente – Incident beam); b) Patrón de luz dispersa para partículas grandes (aproximadamente el 25% de la longitud de onda de la luz incidente); c) Patrón de luz dispersa para partículas más grandes (más grandes que la longitud de onda de la luz incidente). (Bratby, 2016, p. 428).

2.2.3.1.2. Principios de la medición de la turbidez: los sólidos coloidales o suspendidos en el agua.

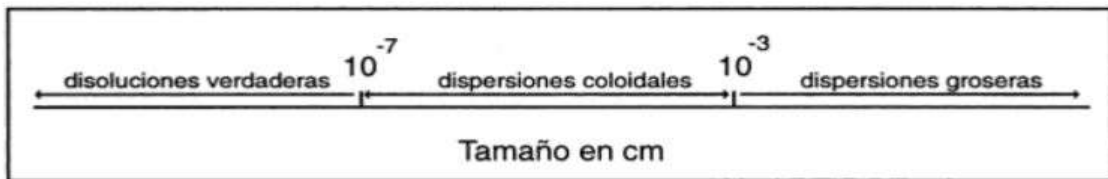
Es cierto que hablar de las partículas suspendidas, coloidales y disueltas nos llevaría un poco más de tiempo y de espacio; por lo que, solo se describirá lo más importante para este estudio. Aguilar et al. (2002) indica que, en cualquier sistema sólido-líquido, según el grado de dispersión de la fase sólida, se pueden distinguir en:

- Dispersiones groseras, con un tamaño de partícula hasta 10^{-3} cm.
- Dispersiones coloidales, contienen partículas que son estables durante largos periodos de tiempo, debido a su diámetro tan pequeño, comprendido entre 10^{-3} y 10^{-6} cm.
- Disoluciones verdaderas, con tamaño de partículas inferior a 10^{-7} cm, y que por ello no se pueden conceptuar como verdaderos sistemas sólido líquido.

De manera gráfica, se puede visualizar en la figura 6, el cuál indica los tamaños en cm de cada partícula presentes en el agua.

Figura 6

Clasificación de las dispersiones según el tamaño de las partículas



Nota: (Aguilar, Lloréns, y Ortuño, 2002)

Entonces, ¿cómo se relaciona el tamaño de las partículas con la dispersión de luz y por ende con la turbidez? Los tamaños de las partículas influyen de la manera siguiente: “*las partículas pequeñas exhiben una distribución de dispersión relativamente simétrica tanto en la dirección hacia adelante como hacia atrás. La pequeña partícula absorbe la energía de la luz y la vuelve a irradiar en todas las direcciones como si fuera una fuente de luz en sí misma.*” (Bratby, 2016, p. 428); las partículas “medianas” por así decirlo, tienen un patrón de luz dispersada desde diferentes posiciones alrededor de la partícula, las cuales crean “*patrones de interferencia que se suman en la dirección de avance, lo que da como resultado una luz dispersada hacia adelante de mayor intensidad que la luz dispersada en*

otras direcciones.” (Bratby, 2016, p. 428); y finalmente, para las partículas grandes, el patrón de luz dispersada para partículas con diámetros mayores que la longitud de onda de la luz incidente, “*indica una dispersión hacia adelante y así hasta aumentar aún más, y con dispersión también en otros ángulos.*” (Bratby, 2016, p. 428).

Según el autor Worch (2019) las aguas crudas utilizadas para la producción de agua potable a menudo contienen:

“Los coloides con tamaños de partículas entre 1 nm y 1 um y pequeños sólidos en suspensión con tamaños de partículas en el rango inferior de um. Esto es particularmente cierto para las aguas superficiales. Estas pequeñas partículas son difíciles de eliminar por filtración de arena convencional o por sedimentación. Suponiendo que, en un flujo laminar, la velocidad de sedimentación terminal, v_s , de una partícula sólida se puede calcular mediante la ley de Stokes.” (Worch, 2019)

Finalmente, para culminar la importancia del tamaño de la partícula se presenta la tabla donde se muestra los tipos y el rango de tamaño de las partículas típicas que se encuentran en el agua.

Tabla 4

Tipos y rango de tamaño de las partículas típicas que se encuentran en el agua y las aguas residuales

Tipo de partícula	Tamaño
Sólidos suspendidos	1 a $10^3 \mu\text{m}$
Sólidos sedimentables	10 a $>10^3 \mu\text{m}$
^a Bacteria	0.1 a $10 \mu\text{m}$
^a Virus	0.01 a $0.1 \mu\text{m}$
Coloides	10^{-3} a $1 \mu\text{m}$
Sólidos disueltos	10^{-5} a $10^{-3} \mu\text{m}$

Nota: Basado en Tchobanoglous and Schroeder (1985). Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification, p. 58. a) Basado en Davis (2010). Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice, p. 3–2. (Mines, Jr., 2014, p. 116)

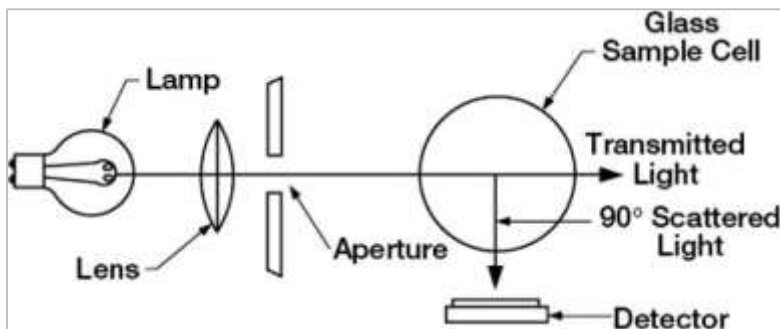
La turbidez se calcula a partir de la relación entre la luz dispersada por la muestra y la producida por una suspensión seleccionada como estándar de turbidez. Sin embargo, diferentes instrumentos pueden dar lecturas diferentes para la misma muestra, incluso cuando han sido calibrados de manera similar. Las características de la fuente de luz y el detector determinan la distribución espectral efectiva de la fuente de luz que podría dar lugar a diferencias en los resultados entre diferentes instrumentos de nefelómetro. Para ello, se describirá los instrumentos de la medición de turbidez.

2.2.3.2. Instrumentos medición de la turbidez

La luz dispersada por las partículas en suspensión se mide con un nefelómetro, cuyo esquema general se muestra en la Figura 7, donde se visualiza los componentes principales y el proceso de medición.

Figura 7

Esquema de un turbidímetro nefelométrico



Nota: Lamp: lámpara; Lens: lente; Aperture: abertura; Glass Sample Cell: celda de muestra de vidrio; transmitted light: luz transmitida; scattered light: luz dispersa; Detector: detector. (Bratby, 2016, p. 430)

Básicamente, una fuente de luz (filamento de tungsteno o LED) dirige la luz a través de una cámara de muestra y un detector mide la luz dispersa, generalmente a 90° del haz incidente. De ahí que, ha habido un intento de estandarizar los turbidímetros para que las mediciones sean relativamente reproducibles. A la actualidad, se cuenta con dos estándares

principales de turbidímetros con la finalidad de tener un rango de sensibilidad que no dependa en gran medida de la presencia de compuestos disueltos o del ángulo en el que se realizan las mediciones de turbidez (ver tabla 5).

Tabla 5

Resumen de normas de diseño de un turbidímetro

Requisito	USEPA 180.1	ISO 7027
detector primario	90° ± 30°	90° ± 1.5°
Fuente de luz	Lámpara de filamento de tungsteno con temperatura de color entre 2200 y 3000 K.	Longitud de onda de 860 nm (se puede utilizar LED o una combinación de lámparas de filamento de tungsteno con filtros)
Pico de respuesta espectral del detector	400 a 600 nm (longitudes de onda primarias de la luz)	El ancho de banda espectral de la luz debe estar dentro de los 860 nm ± 30 nm.
Rango de medición	0 a 40 NTU (cualquier muestra por encima de 40 NTU debe diluirse)	0 a 40 NTU (cualquier muestra por encima de 40 NTU debe diluirse)

Nota: Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment, (Bratby, 2016, p. 430)

2.2.3.3. Un resumen de las unidades de medida de turbidez

La mayor parte del material revisado para este documento se refiere a las mediciones realizadas por instrumentos de turbidez que cumplen con el método 180.1 de la USEPA o con la norma ISO 7027 (tabla 5) y, por lo tanto, “*las unidades de medición que se encuentran con mayor frecuencia en la literatura son NTU, FNU (específicamente para la evaluación del agua potable) y FAU (específicamente para la evaluación de aguas residuales)*” (Ben GB Kitchener, Wainwright, y Parsons, 2017 , p. 631). Aunque, en control de procesos de aguas residuales domésticas, los operadores utilizan el NTU como unidad de la turbidez medida. En la siguiente tabla se muestra algunos alcances de estas unidades.

Tabla 6

Unidades de medida para sensores de turbidez, según el sitio web de USGS (USGS, 2013)

	Longitud de onda de la fuente de luz	
	Blanco o banda ancha: salida espectral máxima de 400–680 nm	Infrarrojo, monocromático: salida típica en el rango de 780 a 900 nm
Fuente de luz de haz de iluminación única		
90° al haz incidente; detector único	Unidad de turbidez nefelométrica (NTU) ^a	Unidad nefelométrica de formazina (FNU) ^b
90° y otros ángulos; múltiples detectores; los algoritmos del instrumento utilizan una combinación de lecturas del detector y técnicas de relación	Unidad de relación de turbidez nefelométrica (NTRU)	Unidad de relación nefelométrica de formazina (FNRU)
30° ± 15° al haz incidente (retrodispersión)	Unidad de retrodispersión (BU)	Unidad de retrodispersión de formazina (FBU)
30° ± 15° y otros ángulos; múltiples detectores; los algoritmos del instrumento utilizan una combinación de lecturas del detector y técnicas de relación	Unidad de relación de retrodispersión (BRU)	Unidad de relación de retrodispersión de formazina (FBRU)
0° al haz incidente (atenuación)	Unidad de atenuación (AU)	Unidad de atenuación de formacina (FAU)
Fuente de luz de haz de iluminación múltiple		
90° y posiblemente otros ángulos; múltiples detectores; los algoritmos del instrumento usan una combinación de lecturas del detector	Unidad multihaz de turbidez nefelométrica (NTMU)	Unidad nefelométrica multihaz de formazina (FNMU)

Nota: a) NTU: limitado a instrumentos que cumplen con el Método EPA 180.1. b) FNU: pertenece a los instrumentos que cumplen con ISO 7027, el protocolo europeo de agua potable. Esto incluye muchos de los turbidímetros sumergibles más utilizados. (Ben GB Kitchener, Wainwright, & Parsons, 2017, p. 632)

Por último, hay una serie de configuraciones de turbidímetros que se han diseñado para lograr una mayor precisión o para reducir las interferencias. La tabla 6 menciona algunos de ellos. Cabe recalcar, que no solo se requiere de un buen equipo de medición, sino de un procedimiento o técnicas de medición, para obtener resultados más precisos, de ahí que, se señalan algunas técnicas de medición de la turbidez.

2.2.3.4. Técnicas para mediciones precisas de turbidez

Varios trabajadores han señalado técnicas que son importantes para mediciones de turbidez precisas y reproducibles. También es importante seguir el manual de operaciones del instrumento específico. Algunas de las principales técnicas se resumen a continuación:

- Solo se necesita una pequeña cantidad de materia suspendida, un sensor ligeramente sucio o una celda ligeramente sucia para causar imprecisiones significativas al medir turbidez baja, por ejemplo, en el rango de 0,1 NTU.
- La limpieza de las celdas de muestra es un tema importante para las mediciones de turbidez de bajo nivel. Un fabricante recomienda lo siguiente para mediciones de turbidez ultrabaja:
 - a) Lave las celdas de muestra con jabón y agua desionizada;
 - b) Remoje las celdas de muestra lavadas en ácido clorhídrico 1:1 durante al menos 1 hora. Las celdas de muestra también se pueden colocar en un baño sónico para liberar partículas de las superficies de vidrio;
 - c) Enjuagar las celdas con agua desionizada ultrafiltrada (ósmosis inversa o filtro de 0,2 μm) al menos 15 veces;
 - d) Cubra inmediatamente las celdas para evitar la contaminación y para evitar que las paredes internas de las celdas se sequen;
 - e) Pula el exterior de la celda con aceite de silicona para evitar que se adhieran partículas y para rellenar pequeñas imperfecciones en el vidrio exterior.
- Si es posible, use una celda de muestra para las lecturas de baja turbidez, particularmente una que haya demostrado ser de alta calidad.

- Se espera que el uso de instrumentos en línea reduzca algunos de los errores causados por el muestreo. La recolección de muestras al azar puede verse afectada por la limpieza de las botellas de muestra; el tiempo de retención de la muestra; condiciones de almacenamiento de muestras; fragmentación, aglomeración o sedimentación de partículas; o partículas adheridas a la botella de muestra. Algunos modelos de procesos en línea incluyen trampas de burbujas o disipadores que reducen los efectos de las burbujas en las lecturas de turbidez.

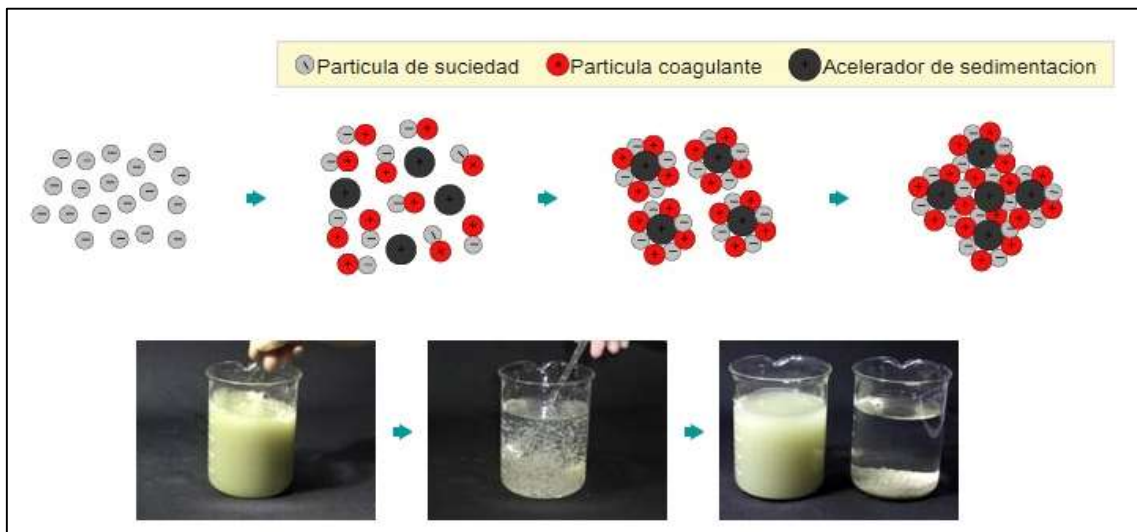
Estos consejos o técnicas de medición se encuentran en el libro *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment* de Bratby, (2016) donde el lector puede encontrar el tema en mayor profundidad si él lo requiere, así mismo, se recomienda el libro de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition*; para profundizar en el procedimiento de medición de la turbidez.

2.2.4. Efecto del coagulante natural (*Opuntia ficus-indica*) sobre la turbidez del agua de río.

Tal como se mencionó líneas arriba, “*la coagulación es un proceso que tiene la finalidad de acondicionar (desestabilizar), mediante un coagulante natural o sintético, la materia suspendida, coloidal y disuelta para que luego se removida o eliminada*”. Esta definición se logra visualizar en la figura 8, donde se esquematiza el comportamiento del coagulante natural con respecto a las particular o sólidos coloidales en un medio acuáticos (aguas superficiales o de río), como menciona Worch, (2019).

Figura 8

Comportamiento del coagulante sobre material particulado del agua superficial



Nota: Extraído de la página web www.nihonkasetu.com

Bratby, (2016) en su estudio sobre los polielectrolitos (coagulantes naturales) explica que se han aplicado con éxito como coagulantes primarios en varios casos para reducir la turbidez del agua superficial, él menciona:

Robinson (1974) investigó “el uso de polielectrolitos para clarificar aguas muy turbias (turbidez máxima de aproximadamente 5000, unidades de turbidez Jackson - JTU). Utilizando tipos catiónicos, no iónicos y aniónicos sólidos y líquidos, encontró que los tipos catiónicos y no iónicos daban muy buenos resultados, comparables al sulfato de aluminio, mientras que los tipos aniónicos no producían el grado de clarificación requerido.” Con los tipos catiónicos, “las dosis variaron de 1 a 4 mg/l dependiendo de la turbidez del agua cruda (rango de 190 a 2000 JTU).” (Bratby, 2016, p. 259)

En general, los polímeros catiónicos permiten tasas de filtración más altas a través de medios más gruesos que los coagulantes metálicos y, en muchos casos, proporcionan mejores eliminaciones de turbidez.

Para la eliminación de la turbidez, por lo tanto, la dosis de polielectrolito es superior a la requerida para estas sustancias. Además, “la adsorción de especies químicas a partículas que producen turbidez, como las arcillas, reducirá el número de sitios de adsorción para el polielectrolito y/o alterará las características de adsorción del polielectrolito a las partículas. La turbidez mínima alcanzable con el polielectrolito fue de aproximadamente 0,2 NTU. Con alumbre se obtuvieron turbidez filtrada por debajo de 0,05 NTU. El alumbre también tenía la ventaja de que era posible la eliminación de compuestos orgánicos a través de una coagulación mejorada. Este no fue el caso cuando se usó el polielectrolito como coagulante primario.” (Bratby, 2016, p. 261).

En consecuencia, la turbidez alcanzada por el *Opuntia ficus-indica*, según la teoría, baja como máximo a 0.2 NTU. Esto indica que este Nopal puede reducir el material particulado a niveles de la normatividad, sin embargo, todo ello se demuestra con la experimentación.

2.2.5. Calidad del agua del río Grande

Para establecer la calidad del agua del río Grande, se ha tomado como referencia diversos estudios, donde sus muestreos fueron realizados en época de precipitaciones abundantes, para Becerra y Quiliche (2019) “la turbidez del río Grande no se encuentra dentro de los límites establecidos para el ECA I clase A1, ya que excede en los puntos de muestreo”, por lo tanto, no sería recomendable realizar un tratamiento

solo de desinfección para la potabilización de esta agua, sería preferible realizar un tratamiento convencional o un tratamiento avanzado, por otro lado en el análisis químico se tienen valores que exceden en aluminio y hierro solo para el ECA I, clase A1.

Para Silva A (2018), el resultado encontrado en el estudio indica que el 77.5% de las locaciones analizadas presentan agua excelente, resultado que se contrasta significativamente con el estudio realizado por Beeckman (2017) en la misma área, pero con 85% de locaciones con agua excelente.

2.3. Definición de términos

i. Cribado o cernido

“Consiste en hacer pasar el agua a través de rejillas o tamices, los cuales retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, como ramas, palos y toda clase de residuos sólidos. También está considerado en esta clasificación el microcernido, que consiste básicamente en triturar las algas reduciendo su tamaño para que puedan ser removidas mediante sedimentación.” (Vargas, 2004).

ii. Sedimentación

“Consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas; este proceso se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con el auxilio de la coagulación.” (Vargas, 2004).

La sedimentación es el proceso en el que la mayoría de las partículas se asentarán por la gravedad dentro de un tiempo razonable y se removerán. “Las partículas con densidades

más grandes de $1\ 000\ \text{kg}/\text{m}^3$ se asentarán finalmente y las partículas con densidades menores a $1\ 000\ \text{kg}/\text{m}^3$ flotarán hacia la superficie del agua.” (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

iii. Flotación

“El objetivo de este proceso es promover condiciones de reposo, para que los sólidos cuya densidad es menor que la del agua asciendan a la superficie de la unidad de donde son retirados por desnatado.” Para mejorar la eficiencia del proceso, “se emplean agentes de flotación. Mediante este proceso se elimina especialmente grasas, aceites, turbiedad y color; los agentes de flotación empleados son sustancias espumantes y microburbujas de aire.” (Vargas, 2004).

iv. Filtración

“Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia se relaciona con las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.” (Vargas, 2004).

v. Coagulación química

La coagulación química “consiste en agregar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso.” Los coagulantes “más efectivos son las sales trivalentes de aluminio y hierro. Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen

en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color” (Vargas, 2004).

vi. Precipitación química

“La precipitación química consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea eliminar, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción de hierro y de dureza carbonatada (ablandamiento), mediante la adición de cal.” (Vargas, 2004).

vii. Intercambio iónico

Como su nombre lo indica, “este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el flujo de agua.” Para el caso del “ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio. Cuando la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se restaura introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal.” (Vargas, 2004).

viii. Sólidos disueltos

Son los sólidos que “atravesan un filtro con poro de $0.45\ \mu\text{m}$. Se componen de sólidos coloidales y disueltos.” La fracción coloidal consiste de partículas con “diámetro de 10^{-3} a $1\ \mu\text{m}$, los disueltos son moléculas e iones que se encuentran diluidos en el agua, la concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, productos de descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos

orgánicos que dan color, olor, sabor y toxicidad al agua que los contiene.” (Jiménez, B. 2001).

ix. Sólidos suspendidos totales

La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en “el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105 °C.”

El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. “La diferencia entre los sólidos totales y los disueltos totales puede emplearse como estimación de los sólidos suspendidos totales.” (Severiche et al., 2013).

x. Prueba de jarras

Sirve para determinar si un “efluente puede ser tratado de manera rentable y con la eficiencia deseable mediante tratamiento de floculación-coagulación. El ensayo consiste en colocar agua residual en vasos de precipitado y añadir, progresivamente, diferentes cantidades de coagulante.” “Se someten los vasos *jarras* a una agitación rápida para homogenizar el medio y posteriormente a una lenta para favorecer la formación del flóculo. Pasado cierto tiempo, se dejan los vasos en reposo y se analiza tanto el sobrenadante como los lodos producidos.” (Jiménez, 2001).

CAPÍTULO III

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio encuentra localizada en la Zona 17 S - coordenadas UTM el cual está en referencia al Sistema Geodésico Mundial (WGS 84); en este caso la georreferenciación se expresa mediante un identificador de zona y dos coordenadas (x, y).

La ubicación geográfica se ha desarrollado en el agua del río Grande ubicado en el distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca. Se ha elegido este río ya que al realizar pruebas previas se ha obtenido que a la altura del caserío Llushcapampa, el agua presenta una turbidez mayor a 100 NTU, al indagar a fondo este parámetro visualizado es probable que se deba a la presencia de vertimientos de aguas servidas y por el aumento del caudal del río, pues el muestreo fue tomado en el mes de marzo, que en el análisis climatológico corrobora que es un mes con presencia de precipitaciones abundantes.

Visualizar la siguiente tabla de ubicación y el siguiente mapa de la zona de estudio.

Tabla 7

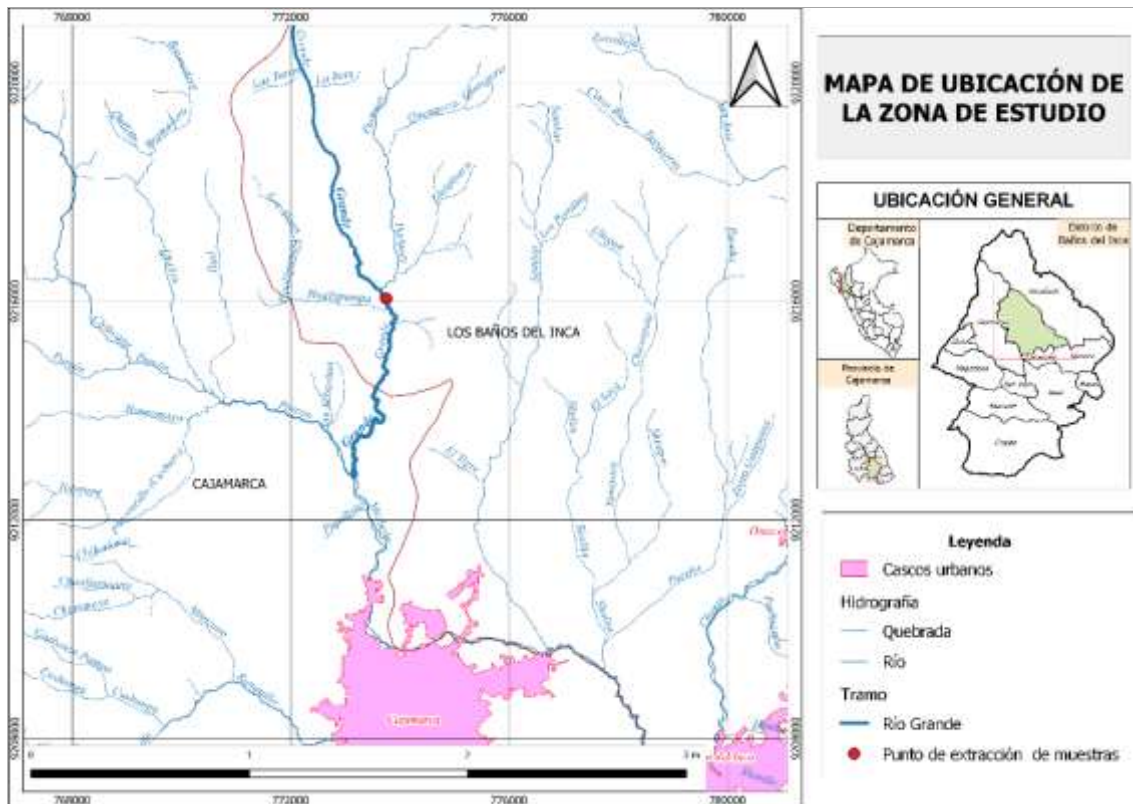
Ubicación política y geográfica de toma de muestra de agua

TOMA DE MUESTRA DE AGUA			
UBICACIÓN POLÍTICA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 17S		Altitud
	Este	Norte	
Departamento de Cajamarca Provincia de Cajamarca Distrito de Baños del Inca Caserío Llushcapampa	773754.38	9216049.49	2789

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Mapa de ubicación



Nota: Elaboración propia

3.1.2. Ubicación Política

El distrito de Cajamarca se encuentra ubicado en la provincia y departamento de Cajamarca, su ámbito territorial está comprendido entre los 2750 m.s.n.m.

Llushcapampa, es uno de los caseríos del distrito de Cajamarca, está ubicado a una distancia de 10.7 km partiendo desde la plaza de armas en auto, que aproximadamente es 32 minutos.

3.2. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.2.1. Climatología

Los principales parámetros climáticos de un área determinada son los siguientes: temperatura, precipitación, dirección del viento y humedad relativa, éstos son los de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización de la climatología. Los registros son históricos, tomados de la estación meteorológica seleccionada, ésta es administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se presenta la información meteorológica histórica de las variables ya mencionadas.

La información utilizada en el presente estudio, para caracterizar el clima en el área de estudio, corresponde a la estación meteorológica "Augusto Weberbauer" – Cajamarca. En el siguiente cuadro se describe las características de la Estación Seleccionada:

Tabla 8

Datos de la Estación Meteorológica

Estación	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
				Este	Norte	
"Augusto Weberbauer"	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	777793	9207070	2662

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú – SENAMHI

La estación seleccionada es de tipo convencional/meteorológica. La estación de "Augusto Weberbauer" se encuentra a una distancia en línea recta aproximada de 9.84 Km del punto de muestreo de agua.

Figura 10

Distancia de la estación meteorológica al punto de muestreo de agua



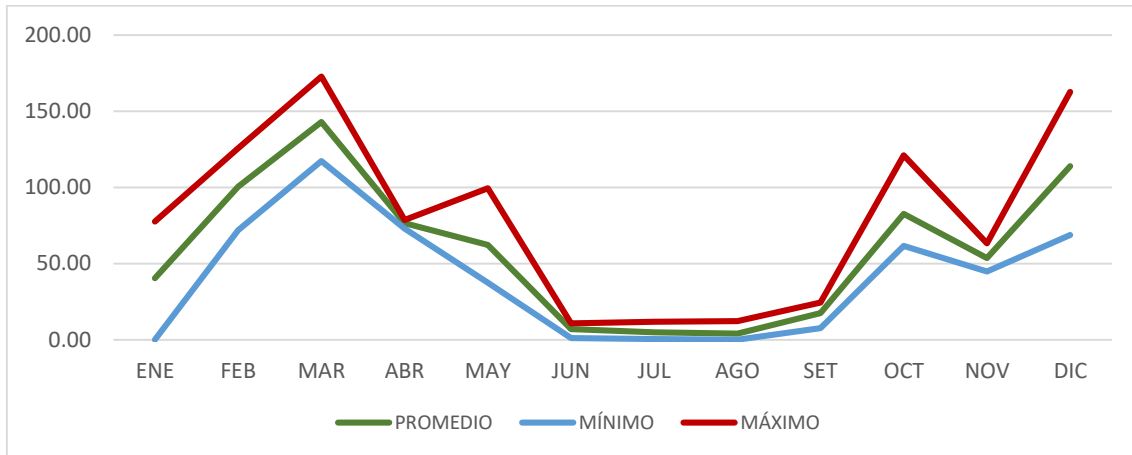
Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú – SENAMHI; Elaboración propia.

3.2.2. Precipitación

En la estación meteorológica, la precipitación promedio anual es de 705.99 mm para el periodo comprendido entre los años 2017-2019. En cuanto a las precipitaciones media mensual registradas, estas van desde 4.03 mm. (Mes de agosto) hasta 142 mm. (Mes de marzo). Además, se puede apreciar que el año con mayor precipitación total anual fue el 2019 con 800.70 mm y el año con la mínima precipitación total anual fue el 2018 con 576.70 mm.

Figura 11

Precipitación media mensual



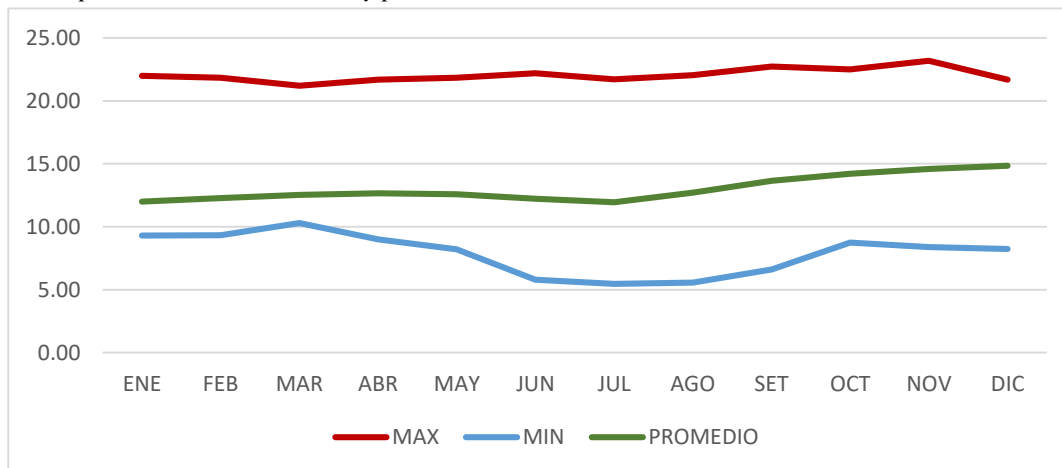
Nota: Elaboración Propia

3.2.3. Temperatura media mensual

En la estación meteorológica, se registró para el periodo 2017-2019 temperaturas medio mensual, que van desde 14.84 °C (mes de diciembre) hasta 11.94°C (mes de julio); así presentando valores máximos que ascienden hasta 22.73 °C (mes de setiembre) y valores mínimos que descienden hasta 5.45°C (mes de julio).

Figura 12

Temperatura máxima, mínima y promedio mensual



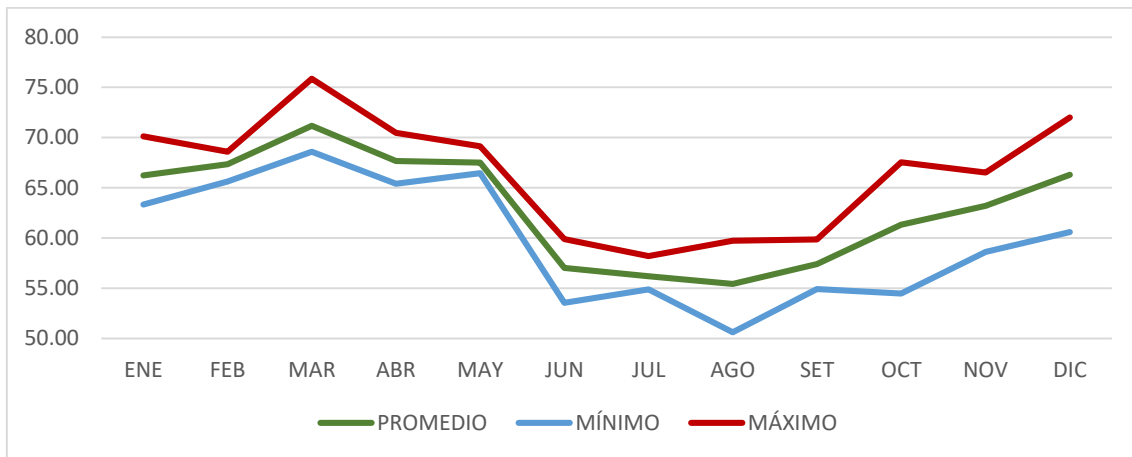
Nota: Elaboración Propia.

3.2.4. Humedad Relativa

En la estación meteorológica, registra humedad relativa media mensual promedio que fluctúa entre 71.16% (mes de marzo) y 55.44% (mes de agosto) para los años 2017 al 2019. En el mes de marzo del 2017, fue el mes que registró el máximo nivel de humedad relativa media mensual con 75.85% y en el mes de agosto del año 2019 se registró el menor nivel de humedad relativa media mensual con 50.62 %.

Figura 13

Humedad relativa mensual (%)



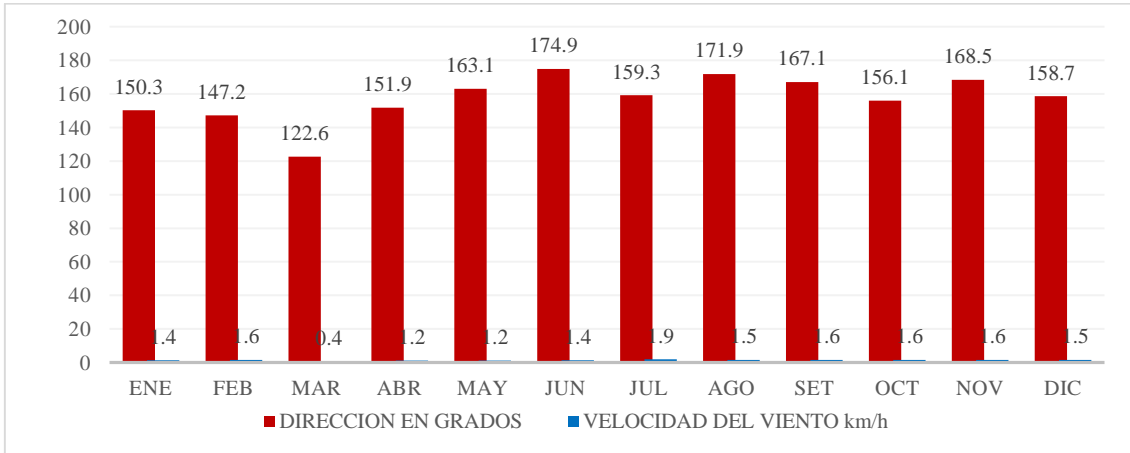
Nota: Elaboración Propia

3.2.5. Dirección del viento

La dirección del viento predominante es hacia el SE (Sureste), debido principalmente a la topografía del lugar, que permite el desplazamiento del viento en ese sentido con mayor facilidad y con una velocidad promedio de 1.41 Km/h.

Figura 14

Dirección y velocidad del viento



Nota: Elaboración propia, datos del Servicio Nacional de Meteorología Hidrología del Perú–SENAMHI

3.2.6. Accesibilidad

La vía de la carretera que conduce a la localidad de Llushcapampa, se dirige a la ciudad de Bambamarca, las distancias existentes son las siguientes:

- Ciudad de Cajamarca a Llushcapampa 10 km. En vía asfaltada, tiempo de 24 min por carro particular y 60 min en Combi.

Figura 15

Ruta de acceso al punto de muestreo de agua



Nota: Elaboración Propia

3.2.7. Hidrografía

Hidrográficamente el presente estudio se enmarca en la cuenca Crisnejas, que pertenece al río que lleva el mismo nombre, la misma que está ubicada en la vertiente hidrológica del Amazonas. La cuenca del Río Crisnejas abarca una extensión de 4909.68 Km².

Los ríos que alimentan las quebradas de Encajón y Callejón que son tributarios del río Grande aguas arriba, son alimentados a su vez por los ríos Huáscar, San José y Tres Tigros, ubicados en la zona alta del distrito de Baños del Inca.

3.2.8. Condiciones edáficas

“Las condiciones edáficas de la zona de estudio son variadas, sin embargo según la base geográfica del Gobierno Regional de Cajamarca, específicamente se encuentra enmarcada dentro de los suelos Páramo Andosol, la descripción de dicha unidad edáfica se encuentra

en el estudio realizado por los expertos en suelos del Gobierno Regional” (Poma y Alcántara, 2011), que precisan “las características de este tipo de suelos, desarrolladas a partir de rocas volcánicas, depósitos de materiales detríticos gruesos derivados de estas mismas rocas, éstos suelos son moderadamente profundos, con una textura media, drenaje bueno, suelos con alta capacidad de retención de humedad, su fertilidad natural es baja, presentan niveles altos de materia orgánica, altos en nitrógeno total, la aptitud de estos suelos para propósitos agrícolas es nula debido a las condiciones climáticas muy rigurosas, quedando relegadas a sustentar pastos naturales que permiten un pastoreo controlado y orientándose además a tierras de protección como una zona de recarga hídrica” (p 23).

3.2.9. Geomorfología

La geomorfología de la zona de estudio es variada, sin embargo según la base geográfica del Gobierno Regional de Cajamarca, específicamente se encuentra enmarcada dentro de la geomorfología de tipo Montañosa con estructura fuertemente disectada en rocas del paleógeno, la descripción de dicha unidad geomorfológica se encuentra en el estudio realizado Alcántara (2011), que explica que son “áreas de topografía muy accidentada conformada por laderas fuertemente ramificadas por las cuales fluyen ríos y quebradas como fleuves de los ríos principales, estructuralmente plegados, donde la pendiente dominante corresponde al rango mayor de 75%” (p.35).

3.2.10. Condiciones socio-económicas

3.2.10.1. Población

Según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, (2017), “la Provincia de Cajamarca cuenta con 348 mil 433 habitantes; con una superficie de 2979,78 kilómetros cuadrados; con densidad poblacional de 131.90 habitantes por

kilómetro cuadrado, estos datos a nivel provincial son imprescindibles para hacer notar la realidad poblacional, sin embargo, la zona de estudio enmarca al centro poblado Lushcapampa, que cuenta con una población de 400 personas distribuidas en 100 viviendas.”

3.2.10.2. Agua Potable

Según estadísticas del INEI (2017), “el 52.89% de la población total del Departamento de Cajamarca tiene acceso a agua potable dentro de su vivienda. A escala Provincial, la Provincia de Cajamarca cuenta con un 71.12% de población con acceso de agua potable dentro de su vivienda.”

3.2.10.3. Electricidad

Según estadísticas del INEI (2017), “a nivel de la Provincia de Cajamarca 80.68% de la población tiene alumbrado eléctrico por red pública, mientras el distrito de Cajamarca un 86.42% de su población cuenta con alumbrado eléctrico.”

3.2.10.4. Educación

Según estadísticas del INEI, (2017), “existen centros educativos de nivel: Inicial – Jardín, primarios y secundarios, este último solamente en algunas localidades. Todos los Centros Educativos no cuentan con Electricidad, Conexión a red pública de agua potable y Conexión a red pública de desagüe.”

3.2.10.5. Salud

Las principales enfermedades, son “las infecciones respiratorias agudas, como su primera causa, seguida de las enfermedades diarreicas agudas. La oferta de servicios de salud está dada por los establecimientos de salud ubicados en el distrito de Baños del Inca,

la población también recurre a atenderse en Cajamarca, además de contar también con postas médicas en localidades cercanas.” (INEI 2017).

3.2.10.6. Principales Actividades Socio Económicas son la Agricultura, Pecuaria y Agroindustria

“La gran parte de la población (Aprox. 88.7%) está dedicada a la agricultura. Los principales cultivos son: Papa, oca, Cebada. Además, crían ganado vacuno, porcino, equino, aves de corral. Su promedio de leche/vaca/día es de 5.6 litros.” (INEI 2017).

3.3. MATERIALES

3.3.1. Fase de campo

En la fase de campo se ha tomado la muestra de agua de tipo puntual en el Río Grande aproximadamente a la altura del caserío Llushcapampa, sólo 50 litros de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010 – 2016 – ANA), de igual manera se han colectado los insumos que en este caso son las paletas de tuna que fueron extraídas del lugar Huacariz a 3 km de la ciudad de Cajamarca.

3.3.2. Fase de laboratorio

En esta fase se han utilizado los siguientes insumos, equipos y material de laboratorio:

3.3.2.1. Insumos

- Agua destilada
- Alcohol etílico de 70 %

3.3.2.2. Equipos

- Agitador magnético HEIDOLPH MR 3000

- Equipo electrónico para prueba de Jarras VELP SCIENTIFICA MR 3000
- Balanza analítica GREETMED
- Equipo multiparámetro ORION
- Turbidímetro HACH 21000

3.3.2.3. Material de laboratorio

- Pastilla magnética HEIDOLPH
- Picnómetro Herka™
- Cuchillo de cocina
- Pinza de disección Fisher Scientific
- Micropipeta EN DIN de 1 y 5 ml
- Beaker GIARDINO 500 – 1000 ml
- Vaso precipitado GIARDINO 50 ml
- Fiola GIARDINO de 100ml
- Balde REY de 18 litros
- Guantes 3M
- Guardapolvo

3.4. METODOLOGÍA

- **Preparación de coagulante natural a concentración de 1%**

Para la preparación del coagulante natural

1. Las paletas de tuna fueron lavadas con agua potable con la finalidad de extraer la suciedad o cualquier otra impureza presente.
2. Seguidamente se procedió a extraer las espinas con un cuchillo y una pinza.

3. Luego peladas y cortadas en trozos de aproximadamente 1 cm², y se dejó reposar en un recipiente de 1 L para extraer el mucílago.
4. Inmediatamente con la ayuda de una micropipeta de 1 ml, se extrajo el mucílago en una fiola de 100 ml y se añadió agua destilada hasta llegar a la medida requerida.
5. Posteriormente se agregó una pastilla magnética y se llevó hacia el agitador magnético, con una RPM de 700 por un tiempo de 1 hora.

– **Preparación de coagulante natural a concentración de 3%**

Para la preparación del coagulante natural

1. Las paletas de tuna fueron lavadas con agua potable con la finalidad de extraer la suciedad o cualquier otra impureza presente.
2. Seguidamente se procedió a extraer las espinas con un cuchillo y una pinza.
3. Luego peladas y cortadas en trozos de aproximadamente 1 cm², y se dejó reposar en un recipiente de 1 L para extraer el mucílago.
4. Inmediatamente con la ayuda de una micropipeta de 3 ml, se extrajo el mucílago en una fiola de 100 ml y se añadió agua destilada hasta llegar a la medida requerida.
5. Posteriormente se agregó una pastilla magnética y se llevó hacia el agitador magnético, con una RPM de 700 por un tiempo de 1 hora.

– **Caracterización de coagulante natural**

Se realizó análisis en el laboratorio para determinar algunas características del coagulante natural elaborado, como: pH a través del equipo multiparámetro y la Densidad (g/ml) a través del Picnómetro, para este último parámetro se aplicó la fórmula (1).

Fórmula 1: Cálculo de la densidad

$$Densidad = \frac{masa (g)}{volumen(ml)}$$

Tomada de Gonzáles et al. (2014)

– **Procedimiento de prueba del coagulante natural**

Para las pruebas de remoción de turbidez del agua se adicionó 1ml del coagulante natural al 1% a 500 ml de agua a tratar, esto se hizo por duplicado; luego se procedió con otra prueba adicionando 3 ml del mismo coagulante natural. De la misma forma se realizaron otras pruebas con el coagulante natural al 3%.

Para proceder aplicar la dosis del coagulante natural, se determinaron los rangos de dosis óptima del coagulante natural para la disminución turbiedad.

Es de relevancia mencionar que, antes y después del tratamiento se hizo una caracterización del agua a través del equipo multiparámetro, con la finalidad de conocer algunas cuantificaciones iniciales del agua como pH y turbidez, antes y después se realizó el tratamiento con el coagulante natural.

3.5. Unidad de análisis, población y muestra (Diseño estadístico)

3.5.1. Unidad de análisis

Medio litro de agua del río grande por jarra

3.5.2. Población

Agua del río Grande

3.5.3. Muestra

50 litros de agua que sobrepasan los 100 NTU.

3.6. Diseño experimental

Para el diseño experimental se aplicaron los siguientes factores y tratamientos de estudio:

ANALISIS MULTIFACTORIAL

FACTOR A: Concentración de *Opuntia ficus-indica*

a1: 1%

a2: 3%

FACTOR B: Revoluciones por minuto (RPM)

b1: 30 RPM

b2:60 RPM

b3:120 RPM

b4:180 RPM

FACTOR C: Volumen (mL)

c1: 1 ml

c2: 3 ml

El arreglo es factorial **2x4x2** por bloques y el número de los tratamientos indicados serán el resultado de las combinaciones entre los niveles de cada factor y se indica en la tabla 8.

Tabla 9

Tratamientos en estudio resultado de la combinación de niveles

Tratamientos	Clave	Descripciones
T1	a1b1c1	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 30 RPM y 1ml
T2	a1b2c1	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 60 RPM y 1ml
T3	a1b3c1	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 120 RPM y 1ml
T4	a1b4c1	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 180 RPM y 1ml
T5	a2b1c1	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 30 RPM y 3 ml
T6	a2b2c1	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 60 RPM y 3 ml
T7	a2b3c1	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 120 RPM y 3 ml

T8	a2b4c1	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 180 RPM y 3 ml
T9	a1b1c3	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 30 RPM y 3 ml
T10	a1b2c3	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 60 RPM y 3 ml
T11	a1b3c3	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 120 RPM y 3 ml
T12	a1b4c3	Dosis de 1000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 180 RPM y 3 ml
T13	a2b1c3	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 30 RPM y 3 ml
T14	a2b2c3	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 60 RPM y 3 ml
T15	a2b3c3	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 120 RPM y 3 ml
T16	a2b4c3	Dosis de 3000 mg/l <i>Opuntia ficus-indica</i> con 180 RPM y 3 ml

Nota: Elaboración propia

Se utilizó 16 tratamientos y 02 repeticiones para cada tratamiento, para el procesamiento de información, se utilizó el programa MiniTab (Software estadístico), para el procesamiento de los datos obtenidos.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las pruebas de significancia o estadísticas que se utilizaron para el análisis de los datos del presente estudio fueron tres: t de student, Análisis de Varianza (ANOVA) un factor y multifactorial 2*4*2.

Finalmente se utilizó para el cálculo de la eficacia de la remoción de la turbiedad, la fórmula (2), donde el porcentaje de remoción compara la turbidez de agua decantada tratada, respecto a la del agua del río. La ecuación muestra la expresión matemática para el cálculo de este parámetro:

Fórmula 2: % de remoción

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{TN} - \text{TD}}{\text{TN}} \times 100$$

Donde:

TN: Es la turbidez del agua natural (de río)

TD: Es la turbidez del agua decantada

Tomada de Valderrama, 2013

Se aplicó dos pruebas de significancia: “t - student para el análisis de la concentración y volumen, y el análisis de varianza (ANOVA) para la agitación; el nivel de significancia es de 0.05 o 5 % a fin de determinar si los tratamientos aplicados tienen un efecto o influencia en los parámetros evaluados.” Sánchez (2015).

Para Sánchez (2015), “la naturaleza de la t-student: Inicialmente se diseñó para examinar las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas que tengan distribución normal y homogeneidad en sus varianzas”, su metodología se presenta a continuación:

1. Probar que cada una de las muestras tiene una distribución normal.
2. Obtener para cada una de las muestras:
 - a) el tamaño de las muestras (n_1 y n_2)
 - b) sus respectivas medias (m_1 y m_2)
 - c) sus varianzas (v_1 y v_2)
3. Probar que las varianzas sean homogéneas
4. En caso de homogeneidad en esas varianzas:
 - a) establecer la diferencia entre las medias: $m_1 - m_2$
 - b) calcular la varianza común de las dos muestras.

$$vc = ((n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2) / (n_1 + n_2 - 2)$$

Es decir, la varianza común (vc) es igual a un promedio pesado de las varianzas de las dos muestras en donde los pesos para ese promedio son iguales al tamaño, menos uno

$(n - 1)$ para cada una de las muestras.

c) con esa varianza común, se calcula el error estándar de la diferencia de las medias

$$ESM = \sqrt{((vc) (n1 + n2)/(n1n2))}$$

5. Finalmente, la t-Student es igual al cociente de la diferencia de medias entre el ESM anterior.
6. De acuerdo con nuestra hipótesis nula y alterna se debe demostrar que existe diferencia entre las medias de las muestras, se consulta una tabla de t-Student con grado de libertad igual a $n1 + n2 - 2$ y se calcula el valor de P.5

El Análisis de Varianza (ANOVA) “es un conjunto de técnicas estadísticas de gran utilidad y ductilidad.” Se utiliza cuando “hay más de dos grupos que necesitan ser comparados, cuando hay mediciones repetidas en más de dos ocasiones, cuando los sujetos pueden variar en una o más características que afectan el resultado y se necesita ajustar su efecto o cuando se desea analizar simultáneamente el efecto de dos o más tratamientos diferentes.”

- La forma más simple es “el llamado ANOVA de una vía o factor, cuando existe una sola variable independiente para clasificar a los sujetos y dos o más niveles (que definen los grupos) de ella.”

- Las otras formas de “ANOVA (de 2 o más factores o de medidas repetidas) son extensiones basadas en el mismo raciocinio.”

- El lector debe tener “una comprensión del raciocinio global y la manera de presentar los resultados del ANOVA para que este resulte inteligible. El uso de las formas más elaboradas requiere de la asistencia de un estadístico profesional.” (Dagnino, 2014).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7. Características del coagulante obtenido

7.1. Proceso de obtención del coagulante natural

El proceso para la obtención del coagulante natural a base de *Opuntia Ficus Indica* se realizó a nivel de laboratorio, con la recolección de paletas de tuna, lavado, extracción de espinas, pelado, cortado y extracción de pulpa o mucílago de la paleta de tuna, el balance de masa por operación realizada se precisa en la siguiente tabla:

Tabla 10

Balance de masa por cada operación realizada hasta obtener el coagulante

Operación	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida (g)	Pérdida de la operación (%)
Paleta de tuna lavada	1821,754	1821,754	0	0
Remoción de espinas	1821,754	1698,211	123,543	6,78
Pelado	1698,211	1200,211	498	29,32
Cortado	1200,211	1190,211	10	0,83
Extracción de pulpa o mucílago	1190,211	193,211	997	83,77
Total	0	0	621,54	36,11

Nota: Elaboración propia

En la tabla 10, se ha determinado que, por cada paleta de tuna extraída, se obtiene un aproximado de 193.211 g de coagulante natural, es decir que sólo el 10.55 % de una paleta es aprovechado, es importante recalcar que las cantidades pueden variar de acuerdo al pesaje de cada pelta de tuna porque es variable.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados promedio de la propia caracterización del agua utilizada en las pruebas:

Tabla 11

Características físico químicas iniciales del agua del río Grande

Parámetro medido	Unidades	Valor
pH	Unidad de pH	7.68
Turbidez	NTU	153.50
Densidad	mg/l	1.7895

Nota: Elaboración propia

Se tomó como referencia la extracción del mucílago de la paleta de tuna a partir a la investigación presentada por Morejón (2017), donde se buscó la manera de obtener una solución acuosa, limpia y sin presencia de grumos, transformada luego en el coagulante-floculante natural, indicando que “el mucílago de tuna es un polímero lineal compuesto de polisacáridos emparentados con las pectinas, las cuales le dan las propiedades de generar su propio gel y por ende actuar como coagulante- floculante.”

Noureddine, et.al (2012), precisan que varios investigadores informaron sobre “el potencial del mucílago de *Opuntia ficus-indica* para reemplazar los coagulantes de hierro o aluminio en las pruebas de vaso estándar de coagulación-floculación”. Además, para Zhang et.al. (2006), existe un “efecto sinérgico del polvo de cladodio de nopal con cloruro de aluminio dio mejores resultados que el uso exclusivo de nopal o cloruro de aluminio.”

Miller, et. Al (2008) indica que actualmente desde el punto de vista industrial, “el Al y el Fe son altamente accesibles en todo el mundo, sin embargo, el uso de *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural puede potenciar el tratamiento sin un coste adicional apreciable, porque la caracterización del mucílago del cladodio de la especie *Opuntia Ficus Indica*, mostró que el mucílago es un polisacárido similar a la pectina soluble en agua de alto peso molecular compuesto por varios polisacáridos: azúcares neutros, como L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido poligalacturónico con proporciones

variables”. Para Felkai-Haddache et.al. (2015), estos polisacáridos actúan como adsorbentes en el tratamiento del agua.

La eficacia del coagulante natural está en función de la disminución de la turbidez del agua, donde se analizó la concentración del coagulante, el volumen del coagulante y las revoluciones en relación con la turbidez de la muestra o agua. Los datos se muestran en la tabla 12.

Tabla 12

Resultados de la experimentación

N° Prueba	Ensayo	Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	pH
1	Prueba	1	1	30	62	7.68
2	Prueba	1	3	30	68.6	7.65
3	Prueba	1	1	60	61.5	7.61
4	Prueba	1	3	60	84.9	7.57
5	Prueba	1	1	120	60.7	7.71
6	Prueba	1	3	120	86.7	7.63
7	Prueba	1	1	180	41.8	7.69
8	Prueba	1	3	180	98.4	7.67
9	Réplica	1	1	30	76.9	7.64
10	Réplica	1	3	30	77.3	7.6
11	Réplica	1	1	60	52.7	7.57
12	Réplica	1	3	60	71.7	7.6
13	Réplica	1	1	120	49.5	7.62
14	Réplica	1	3	120	69.4	7.57
15	Réplica	1	1	180	42.2	7.64
16	Réplica	1	3	180	110	7.63
17	Prueba	3	1	30	68	7.67
18	Prueba	3	3	30	90.7	7.64
19	Prueba	3	1	60	31.2	7.7
20	Prueba	3	3	60	42.9	7.68
21	Prueba	3	1	120	39.1	7.8
22	Prueba	3	3	120	70.9	7.74
23	Prueba	3	1	180	25.4	7.81
24	Prueba	3	3	180	64.6	7.73
25	Réplica	3	1	30	62.2	7.67

N° Prueba	Ensayo	Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	pH
26	Réplica	3	3	30	69.9	7.66
27	Réplica	3	1	60	29.5	7.66
28	Réplica	3	3	60	57.5	7.6
29	Réplica	3	1	120	31.7	7.73
30	Réplica	3	3	120	63.6	7.63
31	Réplica	3	1	180	30.7	7.77
32	Réplica	3	3	180	57.1	7.71

Fuente: Elaboración propia

7.2. Efecto de la concentración de coagulante sobre la turbidez

La concentración del coagulante se midió en porcentaje en relación con la turbidez, para ello, se analizó dos concentraciones: 1 y 3% (tabla 13 y 14) a condiciones de 1 y 3 mL y 30, 60, 120 y 160 RPM a un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 13

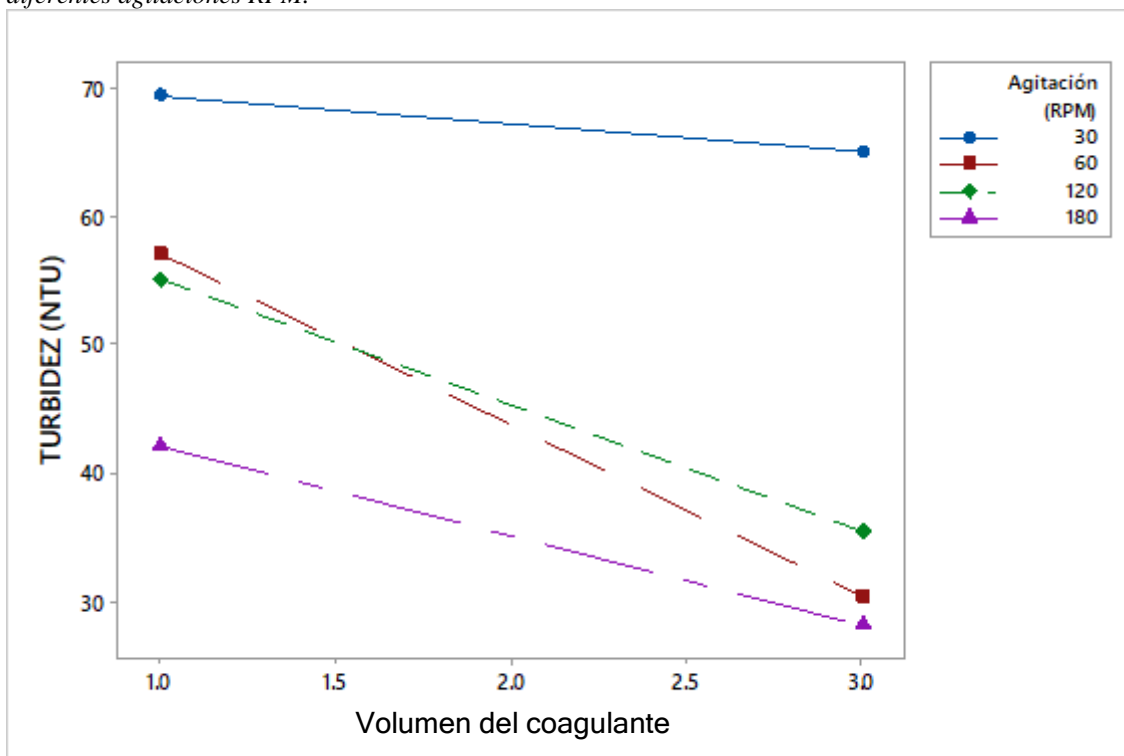
Evaluación de la concentración del coagulante natural en condiciones de 1 mL y RPM

Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Estadístico t	Valor crítico de t (una cola)	P(T<=t) una cola
1	1	30	62.00	0.42	6.31	0.37
1	1	30	76.90			
3	1	30	68.00			
3	1	30	62.20			
1	1	60	61.5	7.54	6.31	0.04
1	1	60	52.7			
3	1	60	31.2			
3	1	60	29.5			
1	1	120	60.7	10.37	6.31	0.03
1	1	120	49.5			
3	1	120	39.1			
3	1	120	31.7			
1	1	180	41.8	5.69	6.31	0.06
1	1	180	42.2			
3	1	180	25.4			
3	1	180	30.7			

Nota: Elaboración propia

Figura 16

Efecto de la concentración del coagulante natural (%) en la turbidez (NTU) a un volumen de 1 mL y a diferentes agitaciones RPM.



Nota: La concentración del coagulante del *Opuntia Ficus Indica* está en porcentaje.

Tabla 14

Evaluación de la concentración del coagulante natural en condiciones de 3 mL y RPM.

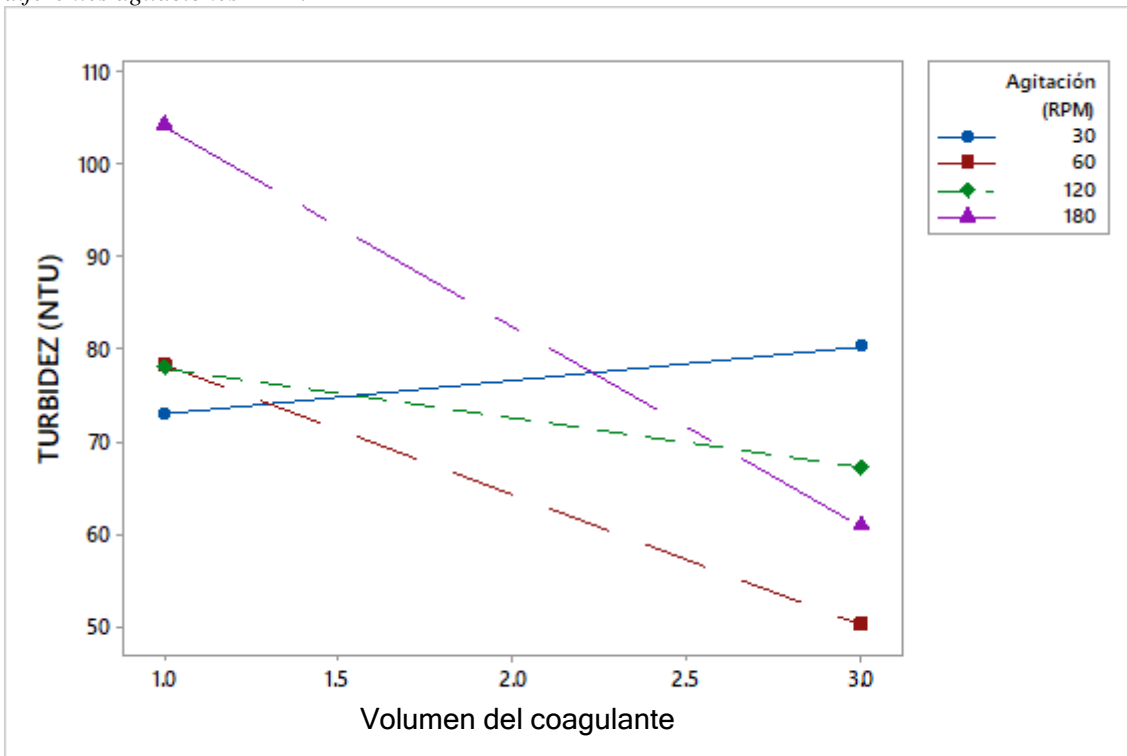
Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Estadístico t	Valor crítico de t (una cola)	P(T<=t) una cola
1	3	30	68.6	-0.498	6.314	0.353
1	3	30	77.3			
3	3	30	90.7			
3	3	30	69.9			
1	3	60	84.9	2.022	6.314	0.146
1	3	60	71.7			
3	3	60	42.9			
3	3	60	57.5			
1	3	120	86.7	2.16	6.314	0.138
1	3	120	69.4			
3	3	120	70.9			
3	3	120	63.6			
1	3	180	98.4	4.539	6.314	0.069

Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Estadístico t	Valor crítico de t (una cola)	P(T<=t) una cola
1	3	180	110			
3	3	180	64.6			
3	3	180	57.1			

Nota: Elaboración propia

Figura 17

Efecto de la concentración del coagulante natural (%) en la turbidez (NTU) a un volumen de 3 mL y a diferentes agitaciones RPM.



Nota: La concentración del coagulante del Opuntia Ficus Indica está en porcentaje.

Interpretación

Las tablas 13 y 14 son análisis de las concentraciones del coagulante natural con respecto a las condiciones indicadas. La tabla 13, nos indica que las concentraciones, bajo las condiciones de 1 mL y 60 RPM afectan significativamente a la turbidez del agua de río, así como a 1 mL y 120 RPM, es decir, en estas dos condiciones la turbidez es disminuida significativamente por el coagulante natural (Figura 16), esto según los valores p calculados

0.04 y 0.03 respectivamente que son menores al nivel de significancia (0.05). Además, se visualiza que a condiciones de 1 mL y 30 RPM no existe efecto significativo del coagulante natural sobre la turbidez del agua de río, pues su valor $p_{\text{calculado}}$ es 0.37, el cual es mayor al nivel de significancia. Para el caso de 1 mL y 180 RPM, se visualiza que no existe efecto significativo, sin embargo, se considera realizar más pruebas para tener un valor $p_{\text{calculado}}$ (0.06) más definido con respecto a la significancia.

Por otro lado, la tabla 14 nos indica que las concentraciones, bajo las condiciones de 3 mL y 30 RPM no afectan significativamente a la turbidez del agua de río, así como a 3 mL, 60 y 120 RPM, es decir, en estas tres condiciones la turbidez no es disminuida significativamente por el coagulante natural (Figura 17), esto según los valores $p_{\text{calculados}}$ 0.353, 0.146 y 0.138 respectivamente, que son menores al nivel de significancia (0.05). Además, se visualiza que, en una condición de 3 mL y 180 RPM, se visualiza que no existe efecto significativo, sin embargo, se considera realizar más pruebas para tener un valor $p_{\text{calculado}}$ (0.069) más definido con respecto a la significancia. En consecuencia, el coagulante natural a una concentración de 1%, volumen de 1 mL y a dos agitaciones 60 y 120 RPM, disminuyen la turbidez del agua de río.

7.3. Efecto del Volumen del coagulante natural vs la turbidez

La dosis del coagulante natural se midió en volumen (mL) con relación a la turbidez, para ello, se analizó dos dosis: 1 y 3 mL (tabla 15 y 16) a condiciones de 1 y 3 % de concentraciones y 30, 60, 120 y 160 RPM a un intervalo de confianza del 95%.

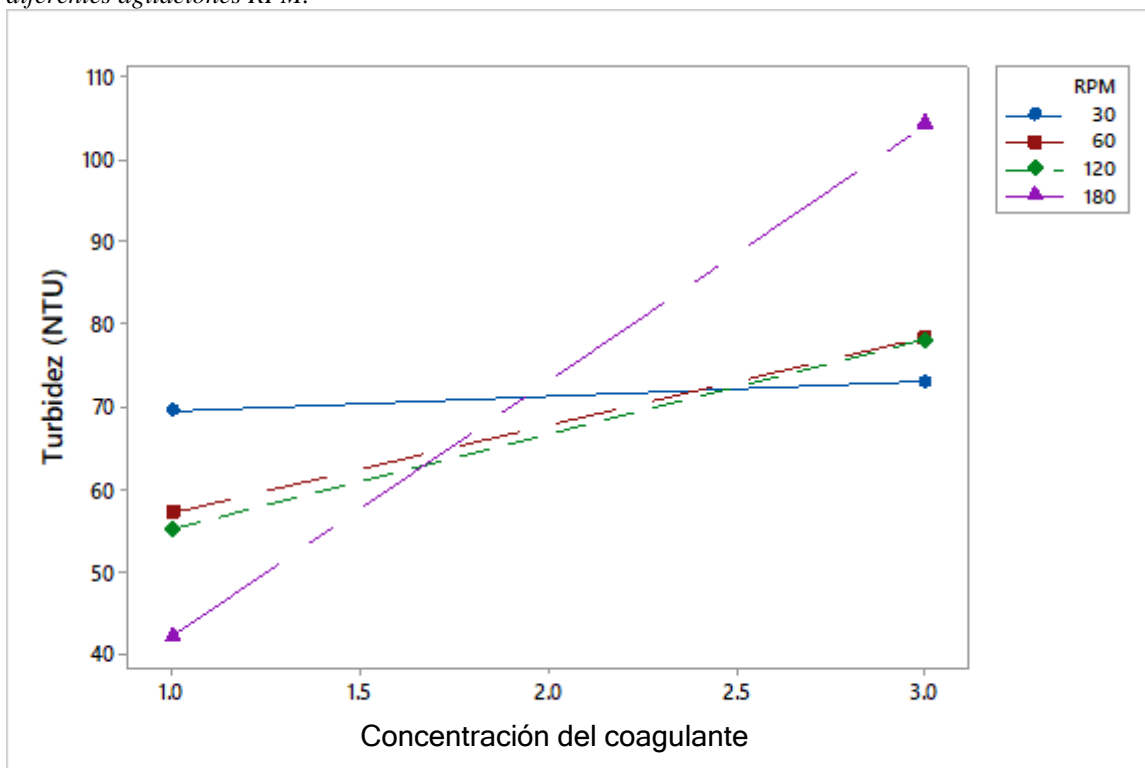
Tabla 15*Evaluación de la dosis o volumen del coagulante natural en condiciones del 1 % y RPM.*

Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Estadístico t	Valor crítico de t (una cola)	P(T<=t) una cola
1	1	30	62			
1	1	30	76.9	-1.129	6.314	0.231
1	3	30	68.6			
1	3	30	77.3			
1	1	60	61.5			
1	1	60	52.7	-9.636	6.314	0.033
1	3	60	84.9			
1	3	60	71.7			
1	1	120	60.7			
1	1	120	49.5	-7.525	6.314	0.042
1	3	120	86.7			
1	3	120	69.4			
1	1	180	41.8			
1	1	180	42.2	-11.107	6.314	0.029
1	3	180	98.4			
1	3	180	110			

Nota: Elaboración propia

Figura 18

Efecto del volumen del coagulante natural (mL) en la turbidez (NTU) a una concentración al 1% y a diferentes agitaciones RPM.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 16

Evaluación de la dosis o volumen del coagulante natural en condiciones del 3 % y RPM.

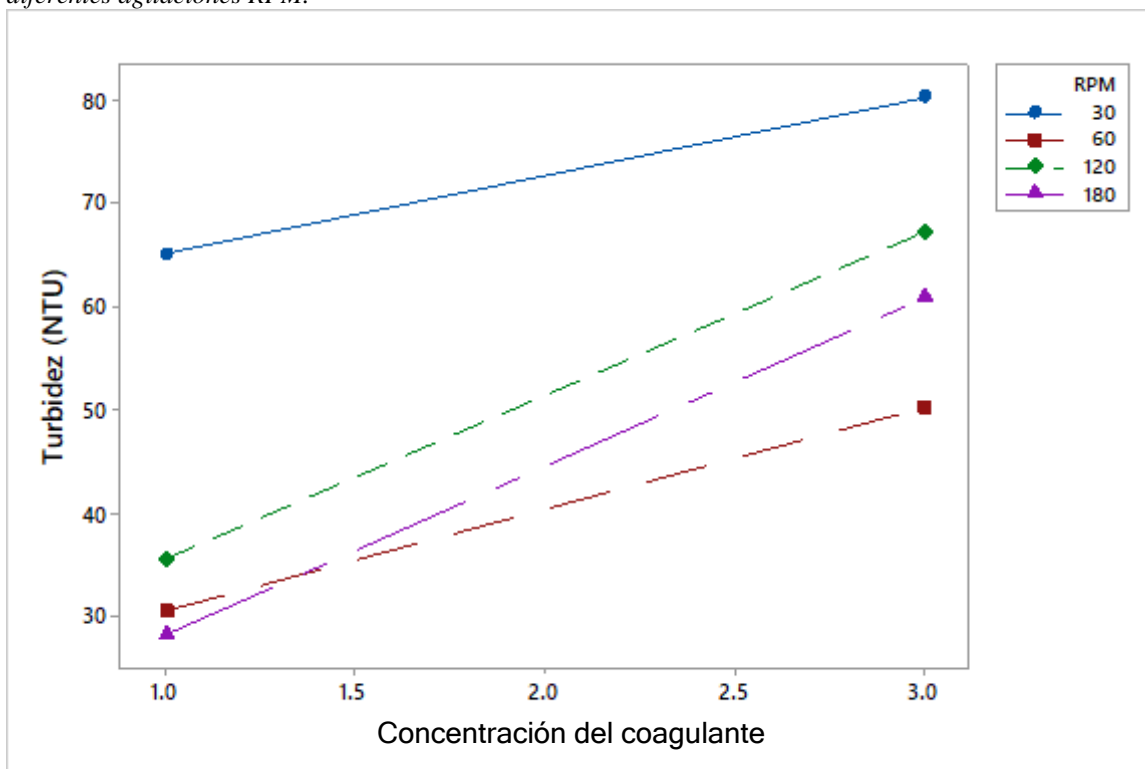
Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Estadístico t	Valor crítico de t (una cola)	P(T<=t) una cola
3	1	30	68			
3	1	30	62.2	-2.027	6.314	0.146
3	3	30	90.7			
3	3	30	69.9			
3	1	60	31.2			
3	1	60	29.5	-2.436	6.314	0.124
3	3	60	42.9			
3	3	60	57.5			
3	1	120	39.1			
3	1	120	31.7	-637.000	6.314	0.000
3	3	120	70.9			
3	3	120	63.6			

Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Estadístico t	Valor crítico de t (una cola)	P(T<=t) una cola
3	1	180	25.4			
3	1	180	30.7			
3	3	180	64.6	-5.125	6.314	0.061
3	3	180	57.1			

Nota: Elaboración propia

Figura 19

Efecto del volumen del coagulante natural (mL) en la turbidez (NTU) a una concentración al 3 % y a diferentes agitaciones RPM.



Nota: Elaboración propia

Interpretación

Los resultados muestran que las dosis afectan significativamente la turbidez del agua, pues, la tabla 15 indica que una dosis, en condiciones del 1% de concentración y a una agitación de 60, 120 y 180 RPM, afectan significativamente a la turbidez (Figura 18), ya que, los valores $p_{\text{calculado}}$ 0.033, 0.042 y 0.029 respectivamente son menores al nivel de

significancia (0.05). Por otro lado, la dosis con una concentración del 1% y 30 RPM no afecta la turbidez, pues el valor p calculado 0.231 es mayor al nivel de significancia (0.05).

Los resultados de la tabla 16 indican que la dosis a una condición del 3% de concentración y 30, 60 y 180 RPM respectivamente; no tiene efecto sobre la turbidez, pues los valores p calculados son 0.146, 0.124 y 0.061 respectivamente. No obstante, la dosis a una concentración del 3% y una agitación del 120, afecta significativamente a la turbidez (Figura 19), ya que, el valor p calculado 0.000 es menor al nivel de significancia (0.05). En consecuencia, la dosis de 1 mL tiene mayor efecto que uno de 3 mL sobre la turbidez del agua de río.

7.4. Efecto de la agitación (RPM) vs Turbidez

La agitación se analizó considerando las concentraciones 1 y 3 % del coagulante natural y las dosis de 1 y 3 mL sobre la turbidez del agua.

Tabla 17

Evaluación de la agitación sobre la turbidez en condiciones del 1 % y 1 mL de coagulante natural.

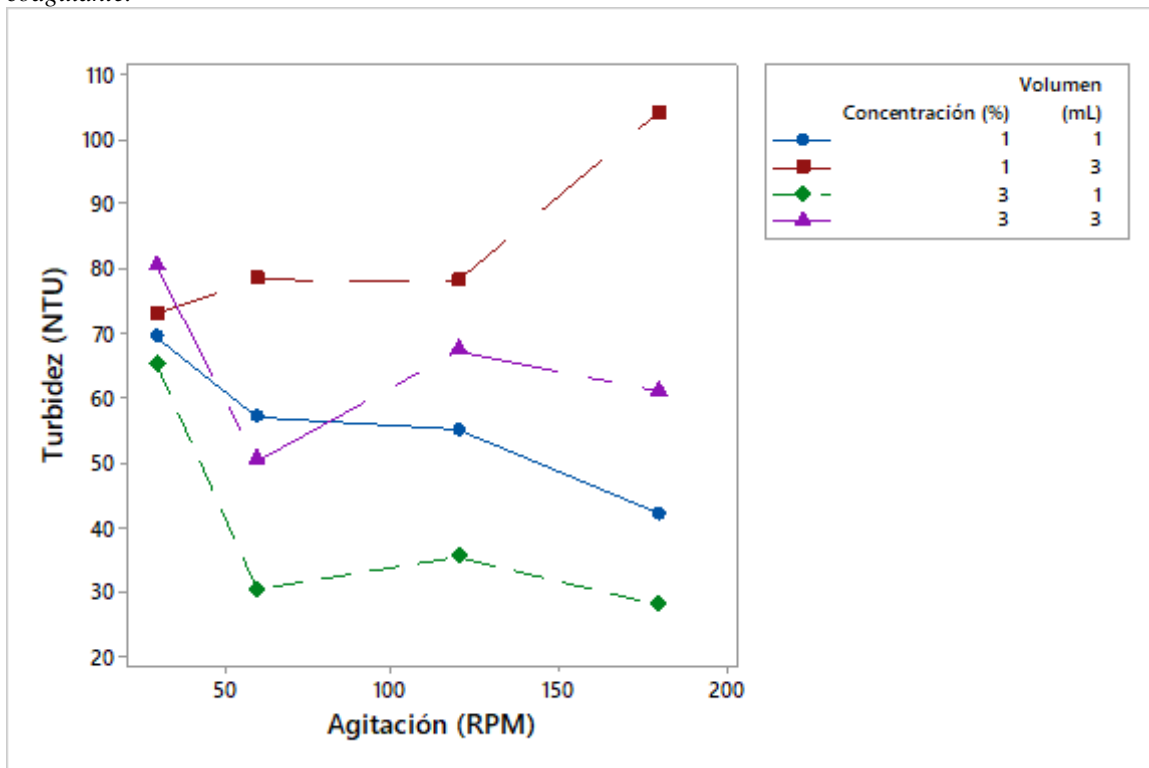
Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Valor F	Valor crítico de F	Valor p
1	1	30	62	4.754	6.591	0.083
1	1	60	61.5			
1	1	120	60.7			
1	1	180	41.8			
1	1	30	76.9			
1	1	60	52.7			
1	1	120	49.5			
1	1	180	42.2			
1	3	30	68.6	4.652	6.591	0.086
1	3	60	84.9			
1	3	120	86.7			
1	3	180	98.4			
1	3	30	77.3			
1	3	60	71.7			

Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	Turbidez (NTU)	Valor F	Valor crítico de F	Valor p
1	3	120	69.4			
1	3	180	110			
3	1	30	68			
3	1	60	31.2			
3	1	120	39.1			
3	1	180	25.4	39.618	6.591	0.002
3	1	30	62.2			
3	1	60	29.5			
3	1	120	31.7			
3	1	180	30.7			
3	3	30	90.7			
3	3	60	42.9			
3	3	120	70.9			
3	3	180	64.6	3.353	6.591	0.137
3	3	30	69.9			
3	3	60	57.5			
3	3	120	63.6			
3	3	180	57.1			

Nota: Se ha realizado un análisis de varianza – ANOVA, para la comparación de las diferentes agitaciones; Elaboración propia.

Figura 20

Efecto de la agitación (RPM) sobre la turbidez (NTU) en condiciones de la concentración y volumen del coagulante.



Nota: Elaboración propia

Interpretación

Los resultados de la tabla 17, indica que la agitación tiene un efecto significativo sobre la turbidez en condiciones del 3% de concentración y a una dosis de 1 mL del coagulante natural, dado que, el valor $p_{\text{calculado}}$ 0.002 es menor al nivel de significancia (0.05), En consecuencia, la agitación influye en la disminución de la turbidez (Figura 20).

El caso de la agitación para las condiciones de concentración y dosis (%/mL): 1/1, 1/3 y 3/3; no afectan significativamente la turbidez, ya que, el valor $p_{\text{calculado}}$ 0.083, 0.086 y 0.137 son mayores al nivel de significancia, lo cual indica que la agitación no influye en la disminución de la turbidez del agua de río (Figura 20). Por lo tanto, la alta concentración

(3%) pero en baja dosis (1 mL) del coagulante natural y a una agitación de 60 RPM, disminuyen la turbidez del agua de río.

7.5. Análisis de la concentración (%), volumen (mL), Agitación (RPM) vs Turbidez (NTU)

Este análisis corrobora lo que anteriormente ya se afirmaba, sin embargo, presenta relaciones más profundas que se indicaran ahí mismo.

El análisis factorial realiza la correlación de los diferentes factores con respecto a la turbidez, es decir, que analiza en bloque las relaciones de la concentración, volumen y agitación. La tabla 18 presenta los factores y niveles analizados proporcionando un modelo factorial de multiniveles, de ahí que, se evalúa la influencia de los factores hacia la turbidez en sus diferentes niveles. En efecto, la tabla 19, muestra las relaciones individuales, en pares y una en conjunto (la unión de los tres conjuntos). El modelo individual indica que influyen en la turbidez, pues el valor $p_{\text{calculado}}$ para la concentración, volumen y agitación es: 0.000 menor al valor $p_{\text{confianza}}$ 0.05, esto indica que existe variabilidad de los resultados y por ende influencia del factor. Ahora para el caso de los tres modelos en pares (concentración*volumen, concentración*agitación y volumen*agitación) nos indica que existe influencia de dos pares, pero no de uno; la concentración*agitación y el volumen*agitación tienen un valor $p_{\text{calculado}}$ de 0.005 y 0.001 respectivamente, menor al valor $p_{\text{confianza}}$ de 0.05, lo que quiere decir que, la unión de estos pares influye en la turbidez, no obstante, el par concentración*volumen no tiene efecto sobre la turbidez dado que el valor $p_{\text{calculado}}$ 0.655 es mayor al valor $p_{\text{confianza}}$ 0.05 indicando por tanto que no influye significativamente sobre la turbidez. Por último, tenemos el análisis final de los tres factores; según la tabla 19, indica que la relación de los tres no

tiene una influencia sobre la turbidez, sin embargo, el valor $p_{\text{calculado}}$ 0.071 muestra, el no descarte de una diferencia entre los datos, es decir, existe una diferencia, pero no es significativa, dando la posibilidad por tanto de una influencia indirecta. En resumen, los factores influyen significativamente sobre la turbidez de una manera individual y en pares, este segundo solo la concentración*volumen no influye, y en el caso de la interacción de tres no muestra una influencia clara; sin embargo, los datos tienen una correlación del 92.71% (tabla 20).

Tabla 18

Factores y niveles de los tratamientos

Factor	Niveles	Valores
Concentración al (%)	2	1; 3
Volumen (mL)	2	1; 3
Agitación (RPM)	4	30; 60; 120; 180

Nota: Elaboración propia

Tabla 19

Análisis de varianza del análisis factorial e interacciones de las variables: concentración (%), volumen (mL), Agitación (RPM) vs Turbidez (NTU)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	12613.7	840.91	13.57	0.000
Lineal	5	9352.3	1870.46	30.18	0.000
Concentración al (%)	1	2437.8	2437.77	39.33	0.000
Volumen (mL)	1	5488.9	5488.90	88.55	0.000
Agitación (RPM)	3	1425.6	475.21	7.67	0.002
Interacciones de 2 términos	7	2733.2	390.45	6.30	0.001
Concentración al (%) *Volumen (mL)	1	12.9	12.88	0.21	0.655
Concentración al (%) *Agitación (RPM)	3	1177.8	392.59	6.33	0.005
Volumen (mL)*Agitación (RPM)	3	1542.5	514.17	8.29	0.001
Interacciones de 3 términos	3	528.3	176.09	2.84	0.071
Concentración al (%) *Volumen (mL)*Agitación (RPM)	3	528.3	176.09	2.84	0.071
Error	16	991.8	61.99		
Total	31	13605.5			

Nota: Elaboración propia

Tabla 20*Correlación de los factores agrupados vs la turbidez*

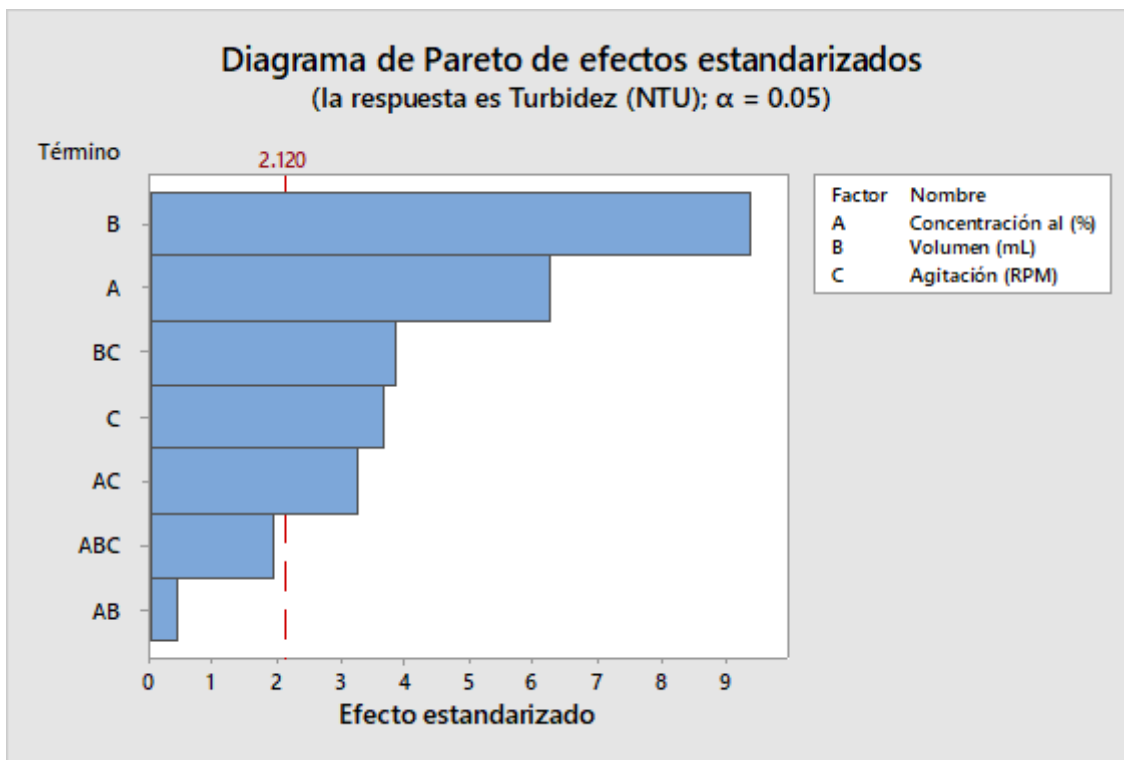
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
7.87311	92.71%	85.88%	70.84%

Nota: Elaboración propia

Entonces, dado que existe una influencia sobre la turbidez se analizó el efecto producido del coagulante natural, analizando los factores ya conocidos. En la figura 21 se visualiza el efecto de las diferentes relaciones, mostrando un límite estándar (2.12), e indicando que toda relación que supera el límite tiene una alta relación, unas más que otras. De ahí que, el volumen tiene mayor efecto que la concentración, la agitación, la relación volumen*agitación y la concentración*agitación; estos últimos tienen efecto, pero no tan evidente como el primero. Por otra parte, la relación concentración*volumen y concentración*volumen*agitación no tienen efecto como los demás (Figura 21).

Figura 21

Diagrama de Pareto para los factores vs turbidez

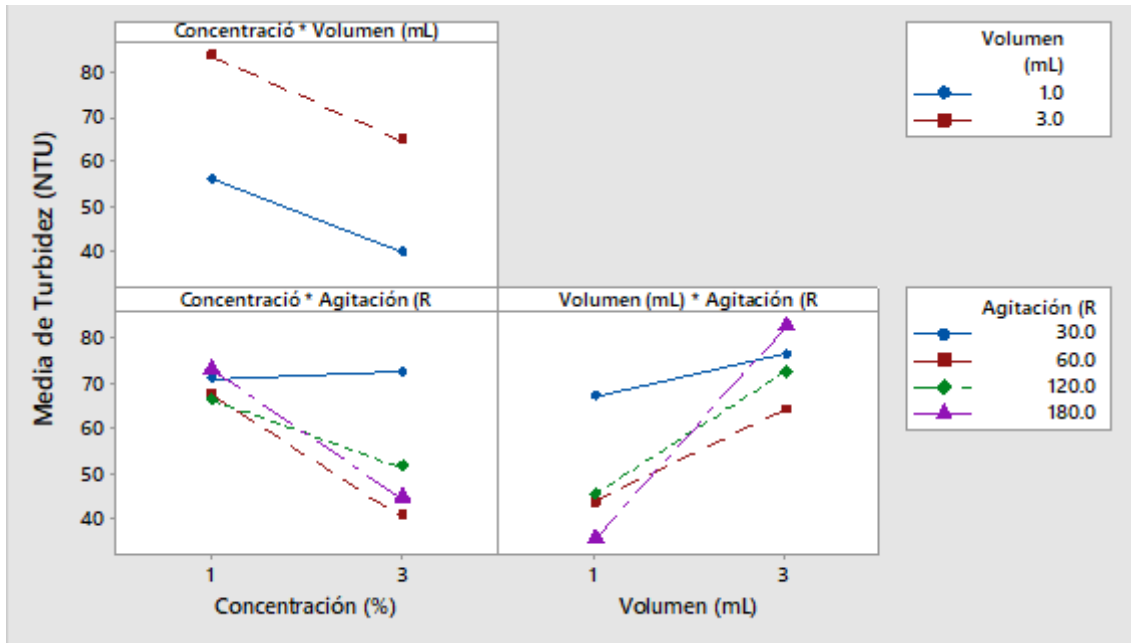


Nota: Elaboración propia

Las interacciones ayudan a identificar el efecto que tiene cada relación con respecto a la turbidez. La figura 22, muestra la relación concentración*volumen el cual tiene efecto a una concentración al 3% y volumen de 1 mL, no así para la concentración al 1% y volumen 3 mL. La segunda relación muestra que la concentración al 3% tiene un mayor efecto a una revolución de 60 y 180 RPM, siendo el de 60 el que más ha reducido la turbidez, no así a una revolución de 30 RPM. Para el caso de la tercera relación, el volumen de 1 mL disminuye en mayor proporción la turbidez a una revolución de 60 y 180 RPM respectivamente, siendo el de 180 RPM el que tiene mayor efecto. En conclusión, la concentración al 3%, un volumen de 1 mL y una revolución de 60, 120 o 180 RPM disminuyen significativamente la turbidez.

Figura 22

Interacción de los factores (concentración, volumen y agitación) vs la turbidez

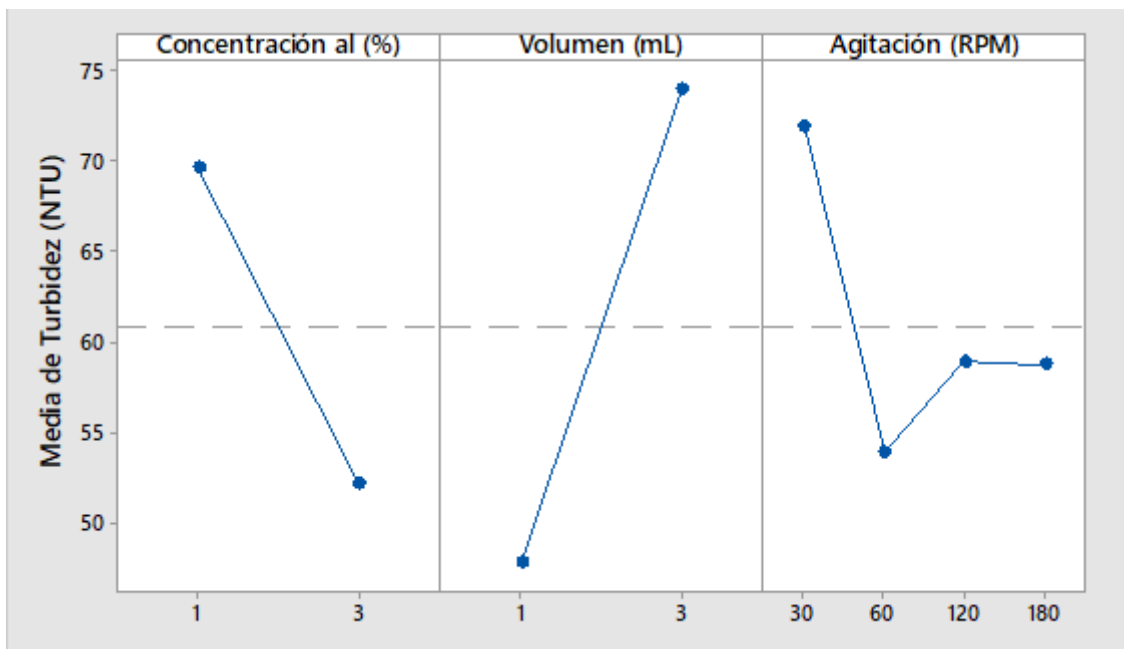


Nota: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 23 se visualiza e identifica los niveles de cada factor que más han reducido la turbidez, es decir, la concentración al 3% del coagulante natural a un volumen de 1 mL y una revolución de 60, 120 o 180 RPM, el de 60 RPM con mayor efecto. En consecuencia, el coagulante natural disminuye la turbidez.

Figura 23

Efecto de los factores en sus diferentes niveles vs la turbidez



Nota: Elaboración propia

Tabla 21

Remoción de la turbidez

Agitación (RPM)	Concentración (%)	Volumen (mL)	Turbidez (NTU)	Remoción (%)
30	1	1	69.45	49.95%
60	1	1	57.1	58.85%
120	1	1	55.1	60.29%
180	1	1	42	69.73%
30	1	3	72.95	47.42%
60	1	3	78.3	43.57%
120	1	3	78.05	43.75%
180	1	3	104.2	24.90%
30	3	1	65.1	53.08%
60	3	1	30.35	78.13%
120	3	1	35.4	74.49%
180	3	1	28.05	79.78%
30	3	3	80.3	42.13%
60	3	3	50.2	63.82%
120	3	3	67.25	51.53%
180	3	3	60.85	56.14%

Nota: Se ha determinado la remoción de la turbidez de agua de río para los niveles de cada factor; el valor inicial es 138.75 NTU. Elaboración propia.

Interpretación

La remoción de la turbidez más alta se encuentra en el grupo: concentración 3% y dosis 1ml del coagulante natural para las diferentes agitaciones, estas son: 53.08 % (30), 78.13% (60), 74.49% (120) y 79.78% (180); siendo este el de 60 y 180 RPM con mayor remoción.

7.6. Análisis de la concentración (%), volumen (mL), Agitación (RPM) vs pH

El análisis de varianza mostrada en la tabla 22 examina la agitación con relación al pH; a concentraciones del 1% y 3% y dosis de 1 y 3 mL del coagulante natural.

Tabla 22

Evaluación de la agitación sobre el pH en condiciones del 1 % y 1 mL de coagulante natural

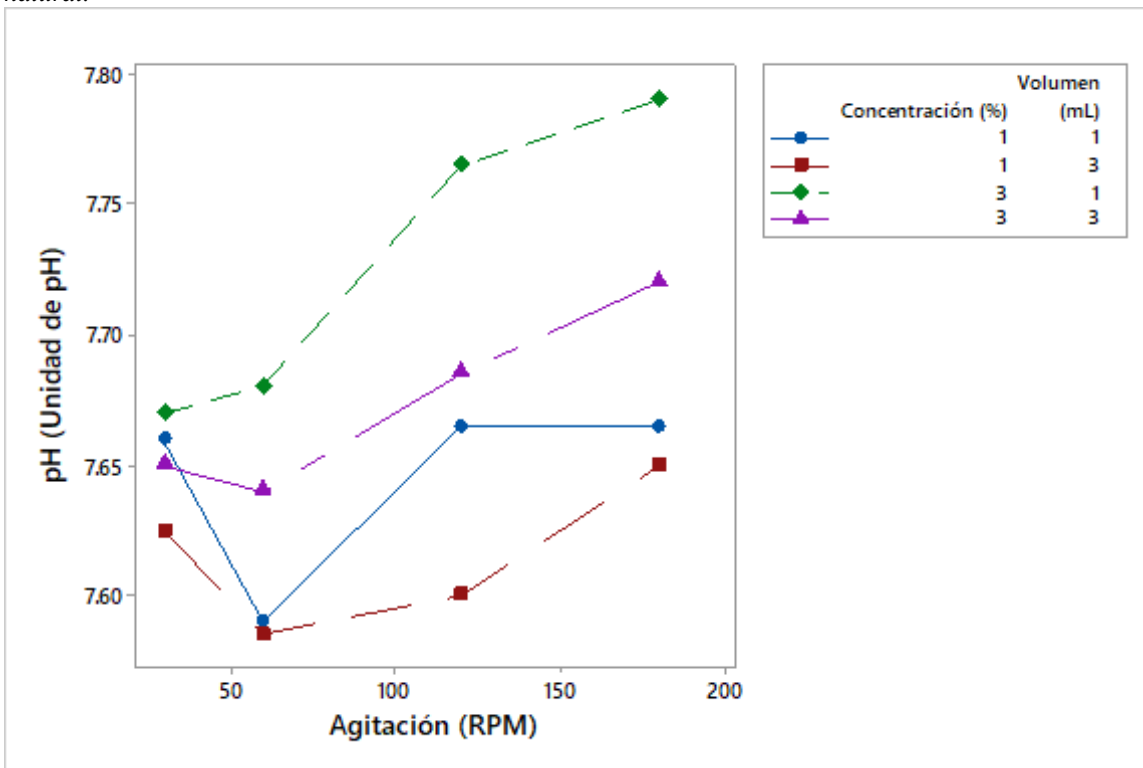
Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	pH (Unides de pH)	Valor F	Valor crítico de F	Valor p
1	1	30	7.68			
1	1	60	7.61			
1	1	120	7.71			
1	1	180	7.69	1.565	6.591	0.329
1	1	30	7.64			
1	1	60	7.57			
1	1	120	7.62			
1	1	180	7.64			
1	3	30	7.65			
1	3	60	7.57			
1	3	120	7.63			
1	3	180	7.67	1.519	6.591	0.339
1	3	30	7.6			
1	3	60	7.6			
1	3	120	7.57			
1	3	180	7.63			
3	1	30	7.67			
3	1	60	7.7			
3	1	120	7.8			
3	1	180	7.81	7.156	6.591	0.044
3	1	30	7.67			
3	1	60	7.66			

Concentración de coagulante (%)	Volumen de coagulante (mL)	Agitación (RPM)	pH (Unides de pH)	Valor F	Valor crítico de F	Valor p
3	1	120	7.73			
3	1	180	7.77			
3	3	30	7.64			
3	3	60	7.68			
3	3	120	7.74			
3	3	180	7.73	1.097	6.591	0.447
3	3	30	7.66			
3	3	60	7.6			
3	3	120	7.63			
3	3	180	7.71			

Nota: Elaboración propia

Figura 24

Efecto de la agitación (RPM) sobre el pH en condiciones de la concentración y volumen del coagulante natural.



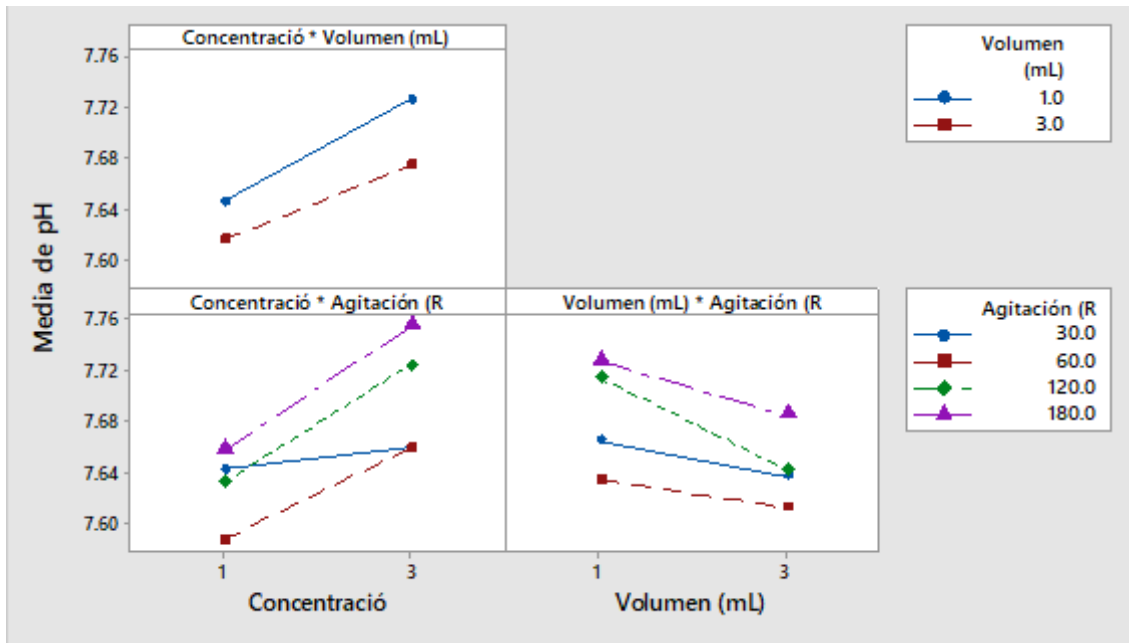
Nota: Elaboración propia

Interpretación

Los resultados (tabla 22) muestran que la agitación influye en el pH a condiciones del 3 % de concentración y a una dosis de 1 mL de coagulante natural, pues se visualiza que el valor $p_{\text{calculado}}$ (0.044) es menor al nivel de significancia (0.05), lo que indica el efecto significativo del factor agitación sobre el pH (Figura 24). Caso contrario, sucede para la agitación en condiciones de la concentración y dosis (%/mL): 1/1, 1/3 y 3/3, sobre el pH; puesto que, los valores $p_{\text{calculados}}$ son 0.329, 0.339 y 0.447 respectivamente son mayores al nivel de significancia (0.05). Por lo tanto, La agitación de 120 y 180 RPM incrementan el pH a condiciones de 3% de concentración y a una dosis de 1 mL de coagulante natural (Figura 24).

Figura 25

Interacción de los factores (concentración, volumen y agitación) vs pH



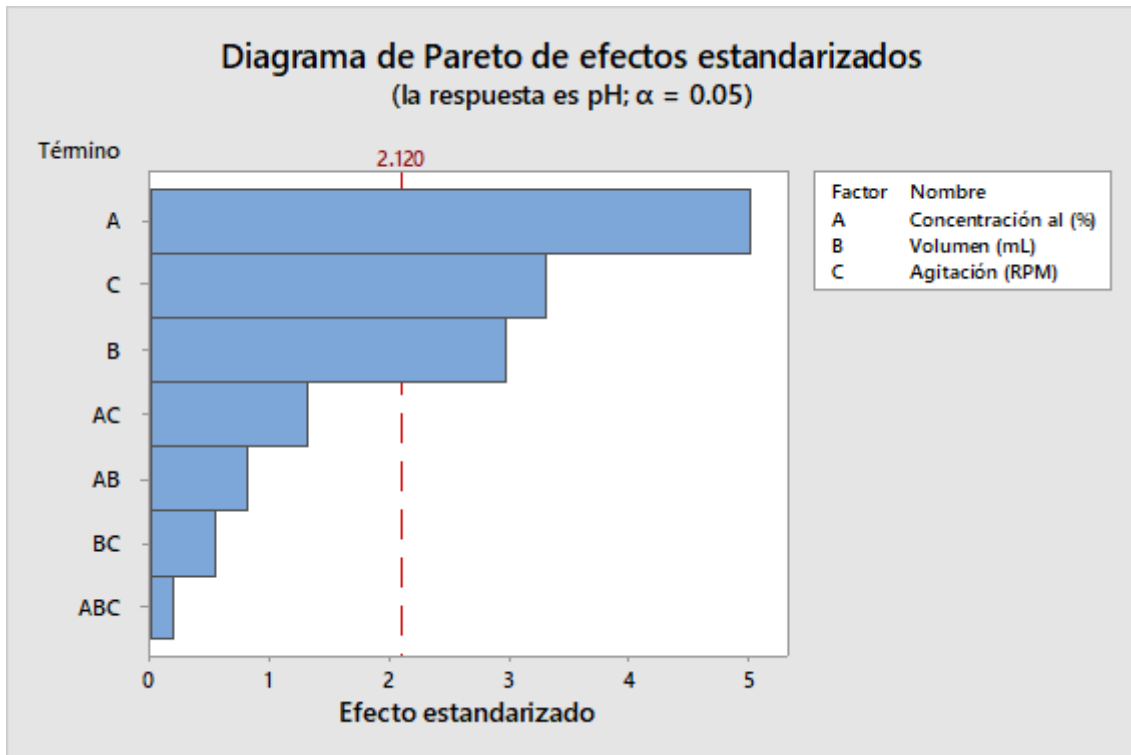
Nota: Elaboración propia

Interpretación

Las interacciones nos indica que los factores han influido o alterado al pH del río. La figura 25, muestra las relaciones “concentración*volumen” y “concentración*agitación” como interacciones que contienen mayor influencia en el pH, para las condiciones de concentración al 3%, dosis de 1 mL y una agitación 180 RPM, sin embargo, la variación es baja. Para la relación “volumen*agitación”, la dosis de 1 mL tiene mayor efecto que el de 3 mL, para todas las agitaciones, en especial para 180 RPM. En consecuencia, el pH del río solo es alterado en las siguientes condiciones: concentración 3%, dosis 1mL y agitación de 120 o 180 RPM.

Figura 26

Diagrama de Pareto para los factores vs pH



Nota: Elaboración propia

Por último, los efectos con mayor significancia están dados por la concentración, el volumen y la agitación de manera independiente como se visualiza en la figura 26 y los efectos que no tienen significancia son los de la concentración con agitación, concentración con volumen, volumen con agitación y finalmente, la Concentración con volumen y agitación (Figura 26). En consecuencia, los factores (concentración, dosis y agitación) influyen en el pH del agua de río.

7.7. Discusión

7.7.1. Efecto del coagulante natural *Opuntia ficus indica* sobre la turbidez

El efecto que tiene el coagulante de la *Opuntia ficus indica* sobre la turbidez del río Grande es significativo, esto debido “al principio activo del mucílago de nopal para reducción de turbidez en el agua.” (Contreras Lozano, Mendoza Jairo, Salcedo Mendoza, Olivero Verbel y Mendoza Ortega, 2015, p. 46). Es decir, “el mucílago, específicamente el componente de **ácido galacturónico**, puede explicar parte de la reducción de la turbidez por parte de *Opuntia* spp. ya que, el ácido galacturónico agregado de forma independiente pudo reducir la turbidez en más del 50%” (Miller, Fugate, Craver, Smith y Zimmerman, 2008, p. 4278). “El ácido galacturónico predomina en especies vegetales en forma polimérica (ácido poligalacturónico) **cuya estructura indica que es aniónico**, y la existencia de grupos carboxílicos a lo largo de la cadena implica que puede **darse la absorción química** entre partículas cargadas suspendidas en el agua y estos grupos funcionales” (Manunza, Deiana, Pintore y Gessa, 1997, 85-87), o como Miller, Fugate, Craver, Smith y Zimmerman, (2008), menciona que el mecanismo de coagulación predominante para *Opuntia* spp. es “la adsorción y la formación de puentes, en la que las partículas de arcilla no se ponen en contacto directamente entre sí, sino que se unen a un

material similar a un polímero de *Opuntia spp.* La adsorción puede ocurrir a través de enlaces de hidrógeno o interacciones dipolares. Es probable que los electrolitos naturales de *Opuntia spp.*, particularmente los cationes divalentes, que se sabe que son importantes para la coagulación con polímeros aniónicos, los cuales facilitan la adsorción.” (p. 4277). De los anterior, se deduce dos problemas, el primero, la eficiencia del mucilago dado que, Miller, Fugate, Craver, Smith y Zimmerman, (2008) y Contreras Lozano, Mendoza Jairo, Salcedo Mendoza, Olivero Verbel y Mendoza Ortega, (2015); dicen que el mucilago del *Opuntia spp.*, solamente disminuye en un 50 %. Sin embargo, estudios como el de Vargas-Solano, Rodríguez-González, Martínez-Velarde, Morales-García, y M.P.Jonathan, (2022); Parra, y *et. al*, (2011); y Olivero Verbel, Mercado Martínez y Montes Gazabón, (2013), quienes dicen que el mucilago del *Opuntia spp.* es mayor al 70 % e incluso superior, asemejándose al sulfato de aluminio. Esta conclusión se asemeja a nuestros resultados, ya que, el rango que mayor ha logrado remover es: 74.49% - 79.78%, para una concentración del 3% y revoluciones de 60 a 180 RPM respectivamente. El segundo problema que se discute es el asunto del mecanismo de coagulación del mucilago. Para algunos el proceso es de compresión de doble capa y puente. “Aunque *Opuntia spp.* es un coagulante efectivo en soluciones de caolín y agua desionizada, es posible que los iones naturalmente existentes en el propio cactus puedan proporcionar la fuerza iónica necesaria para la compresión de la doble capa y, por lo tanto, la coagulación.” (Miller, Fugate, Craver, Smith y Zimmerman, 2008, p. 4277). Sin embargo, la fuerza iónica proporcionada por *Opuntia spp.* en sí mismo no es lo suficientemente alto como para causar la coagulación como resultado de la compresión de doble capa; de ahí que, creemos que los resultados nos muestran un mecanismo de adsorción y la formación de puentes, ya que, el mucilago une

coloides o partículas suspendidas, sin embargo, no se descarta el mecanismo de fuerza iónica la cuál es también una buena opción de unir coloides; este debate no termina, ya que, es posible que interactúen otros componentes los cuales no se está estudiando, pero nos quedamos con las dos conclusiones propuestas por Miller, Fugate, Craver, Smith y Zimmerman, (2008).

Por otro lado, el porcentaje de remoción mayor al 70 % en condiciones de 3% de concentración y dosis de 1mL y una agitación que se encuentra en un rango de 60 – 180 RPM; se corrobora con el estudio de Vargas-Solano, Rodríguez-González, Martínez-Velarde, Morales-García, y M.P.Jonathan, (2022) quienes utilizaron el mucílago *Opuntia ficus indica* – OFI en polvo y diluido en agua, sin embargo, en la remoción de la turbidez de río Yautepec, obtuvieron un valor de 73.53% en concentraciones de 87.5, 175 y 350 mg/L y una agitación de 80 RPM por 30 min. Adicional, a ello, el coagulante natural tiene una remoción mayor al 90% para hierro (Fe) y manganeso (Mn), y mayor al 60% para cromo (Cr) y arsénico (As), y menos del 40% para cadmio (Cd), níquel (Ni) y plomo (Pb). (p. 100); conclusiones similares aporta Abdellatif, et.al (2020).

Inga, G. (2019), analizó tres diferentes tipos de concentraciones en turbidez menor a 20 NTU, siendo estos 600 mg/L, 700 mg/L y 800 mg/L; la turbidez baja en 4.46 NTU en una dosis óptima de 800mg/L. Con concentraciones de 60 mg/L, 70 mg/L y 80 mg/L, la turbidez disminuye en 14.24 NTU utilizando la dosis óptima de 60 mg/L; finalmente cuando utiliza dosis de 2,5 mg/L, 5,0 mg/L y 7,5 mg/L, identifica que existe una disminución de 4.23 NTU, encontrando la dosis óptima de 2.5 mg/L. Esto demuestra, que las dosificaciones bajas del coagulante natural tienen mayor potencial de acción, puesto que, disminuye la turbidez en mayor proporción; similar al presente estudio (Ver tabla 15,

17, 19). Esta afirmación también están en línea con la de Andrew (2016), el cual investigó al mucílago de *Opuntia ficus indica* como producto natural, sostenible y viable para el tratamiento de agua de uso en zonas rurales de México para reducir la turbidez y contaminación por arsénico en el agua potable, dicha investigación reveló que *las pruebas en frascos de las concentraciones más bajas de mucílago proporcionaron la eficacia óptima para la claridad del sobrenadante, un factor importante en determinación de la potabilidad del agua.*

7.7.2. Efecto del coagulante natural *Opuntia ficus indica* sobre el pH

La dosis de 1 mL mantuvo un mayor efecto que el de 3 mL, para todas las agitaciones, en especial para 180 RPM; por lo que, el pH del río solo es alterado en las siguientes condiciones: concentración 3%, dosis 1mL y agitación de 120 o 180 RPM. Esto esta acorde con el estudio de Morejón, (2017), pues, a mayor concentración mayor probabilidad de incrementar el pH, de ahí que, con el 25% de mucílago de tuna, mantuvo la neutralidad (6,93 pH) del agua cruda y con los tratamientos de 50%, 75% y 100% de mucílago tuvieron la tendencia de alcalinizar el agua. (Ver figura 24 y 25). Sin embargo, para las condiciones restantes (ver tabla 22) el pH se mantiene constantes, *“este hecho está relacionado con una mayor o menor proporción de desprotonación de algunos grupos funcionales del mucilago de *Opuntia ficus indica*.”* (Vargas-Solano, Rodríguez-González, Martínez-Velarde, Morales-García y M.P.Jonathan, 2022, p. 150). Pero también, *“se deba a una mayor repulsión electrostática entre partículas en ausencia de electrolitos de fondo, lo que hace que la coagulación en ocasiones sea más difícil.”* (Miller, Fugate, Craver, Smith y Zimmerman, 2008, p. 4276).

Por otro lado, “*los valores medidos para el pH del agua cuando fue tratada con dosis de coagulante de 50, 75 y 90 mg/L. Los resultados indicaron que el pH del agua para las diferentes dosis se mantuvo alcalino, con valores entre 7.5 y 7.9; lo cual indica que el material adicionado no altera en gran medida el pH del agua tratada*”. (Villabona Ortiz, Paz Astudillo y Martínez García, 2013, p. 143; y Contreras Lozano, Mendoza Jairo, Salcedo Mendoza, Olivero Verbel y Mendoza Ortega, 2015, p. 48). Tal afirmación se corrobora con los datos de presente estudio.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se evaluó que el Coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* es eficaz en la disminución de la turbiedad del agua del río Grande, Cajamarca 2021.
- Se determinó que la concentración de 3% remueve mayor cantidad de turbidez del agua con respecto a la de 1%.
- Se estimó que la mayor remoción de turbidez con relación volumen, se encuentra a 1 ml de coagulante natural *Opuntia ficus-indica* que el volumen de 3 ml.
- Se determinó que las agitaciones de 60 y 180 RPM disminuyen en mayor proporción la turbidez del agua a diferencia de las demás revoluciones trabajadas, sin embargo, la revolución de 60 RPM tiene mayor efecto sobre la turbidez del agua.
- Se estableció que el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* tiene una eficacia del 70.97% de remoción de la turbiedad del agua en las siguientes condiciones: concentración al 3%; volumen de la solución de 1 ml; y una agitación de 60 RPM.
- Se valoró el pH como parámetro adicional; según los resultados los factores no influyen en el pH, ya que, no existe variabilidad significativa; sin embargo, las pequeñas variaciones existentes suceden por influencia de la composición química de *Opuntia ficus-indica*.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar todas las pruebas el mismo día en el que se colecta el agua y se extrae el mucílago de la paleta de tuna, con la finalidad de evitar la sedimentación del agua y la aceleración del proceso de oxidación de la planta.
- Se planea nuevas luces de investigación hacia este elemento efectivo dentro de la clarificación de aguas crudas con la finalidad de encontrar un mercado manufacturero autónomo que remplace los químicos agresivos que se usan en la actualidad.
- Evitar en otros procesos investigativos, establecer relaciones entre los factores de concentración por volumen por agitación y concentración por volumen, para el caso de la turbidez, así mismo para el caso del pH, evitar establecer relaciones entre concentración por agitación, concentración por volumen, volumen por agitación, finalmente concentración por volumen por agitación. Porque la significancia al establecer dichas relaciones es baja.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdellatif, N., Hammoui, Y., Boudria, A., Agab, S., Leclerc, J., & Khodir, B. (2020). Effect of a natural coagulant extract from *Opuntia ficus-indica* cladode on electrocoagulation electroflotation water treatment process. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 6-7.
- Abu, R. (2018). *Fundamentals of Quorum Sensing, Analytical Methods and Applications in Membrane Bioreactors*. ScienceDirect.
- Aguilar, M., Lloréns, M., & Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales*. España: F.G. Graf S.L.
- Alcántara, G. (2011). *Geomorfología*. GORE-CAJ.
- Andia, Y. (2000). *Tratamiento de agua Coagulación y Floculación*. Perú: SEDAPAL.
- Andrew, K. (2016). *The Mucilage of Opuntia Ficus Indica: A Natural, Sustainable, and Viable Water Treatment Technology for Use in Rural Mexico for Reducing Turbidity and Arsenic Contamination in Drinking Water*. University of South Florida.
- Arellano, J., & Guzmán, J. (2011). *Ingeniería Ambiental*. México: Alfaomega.
- Becerra, R., & Quiliche, K. (2019). "Evaluación del agua en la quebrada quishuar y el río grande, para determinar la concentración de metales, conductividad y turbidez, cajamarca 2018-2019". Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Ben GB Kitchener, Wainwright, J., & Parsons, A. (2017). A review of the principles of turbidity measurement. *Progress in Physical Geography*, Vol. 41(5) , 620–642, DOI: 10.1177/0309133317726540.

- Bernal Torres, C. A. (2006). *Metodología de la Investigación* (Segunda ed.). México: pearson educación.
- Bhalchandra, A. (2019). *Drinking Water Treatment for Developing Countries physical, Chemical and Biological*. Royal society of chemistry.
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. Londres, SW1H 0QS, UK: IWA Publishing, ISBN: 9781780407500.
- Bravo, M., & Gutiérrez, J. (2016). *Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río Pollo en Otuzco emplenado semillas de Caesalpinia spinosa (Tara)*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Bunge, M. (2004). *La investigación científica - Su estrategia y su filosofía* (Tercera ed.). México D.F.: siglo xxi editores.
- Castro, J. (2009). *Cultivo de tuna*. Perú: 2009.
- Chávez, S. (2018). *Evaluación de la acción coagulante de la semilla de durazno y tallo de nopal: aclaración de las aguas turbias*. Ecuador: Unidad académica en ciencias sociales.
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2018). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua*. Apurimac, Perú: Universidad Nacional José María Arguedas.
- Contreras Lozano, K. P., Mendoza Jairo, Y. A., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante

- natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia Vol.10, No.1*, pp. 40-50. <http://hdl.handle.net/10567/1333>.
- Costa, U. (2017). *Desempenho de coagulantes naturais, adsorvente alternativo e filtros lentos domiciliares no tratamento de águas com Microcystis aeruginosa e microcistina: alternativas tecnológicas para comunidades isoladas*. Brasil: Universidad de Sao Paulo.
- Dagnino, J. (2014). Bioestadística y epidemiología. *Chil Anest*, 1.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia: ISBN.
- Deshmukh, S., & Hedao, M. (2019). *Wastewater Treatment Using Bio-Coagulant as Cactus Opuntia Ficus Indica*. India: Amravati.
- Díaz, M. (2018). *Ecuaciones y cálculo para el tratamiento de agua*. Paraninfo, S.A.
- Droste, R., & Gehr, R. (2018). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. Wiley.
- Felkai-Haddache, L., Remini, H., Dulong, V., Mamou-Belhabib, K., Picton, L., Madani, K., & Rihouey, C. (2015). Conventional and Microwave-Assisted Extraction of Mucilage from *Opuntia ficus-indica* Cladodes: Physico-Chemical and Rheological Properties. *Springer Link*, 1-2.
- Ferrero, J. (1974). *Depuración biológica del agua*. Alhambra: Bs.As.
- FUNASA. (2006). *Manual práctico de análisis de agua*. Brasilia: Fundación Nacional Saúde.

García, F. (2019). *Minimización de vertidos para el desarrollo sostenible*. España: Elearning S.L.

González, J. (2015). *El acceso al agua potable como derecho humano su dimensión internacional*. España: Club Universitario.

González, R., Montagut, P., Sansón, M., & Salcedo, R. (2014). *Química*. Grupoeditorial patria.

Goñi, J. (2011). *Matemáticas complementos de formación disciplinar*. España: GRAÓ, de IRIF, S.L.

Guitierrez, H., & De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseños de experimentos*. México: McGraw - Hill.

Guzmán, L. (2013). *Reducción de la Turbidez del Agua Usando Coagulantes naturales*. Actualidad Científica.

Howe, K., Hand, D., Crittenden, J., Trussell, R., & Tchobanoglous, G. (2012). *Principles of Water Treatment*. Hoboken, New Jersey, EE.UU.: John Wiley & Sons.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (30 de Marzo de 2021). *Sistema de información geográfica*. Obtenido de <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Inga, G. (2019). *Disminución de coliformes totales y turbidez mediante coagulantes naturales (Opuntia ficus indica) del rio cunas, provincia de Chupaca*. Perú: Universidad Nacional del centro del Perú.

Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México: ISBN.

- John, B. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. IWA publishing.
- Lédo, P., Lima, R., & Duarte, P. (2009). *Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas*. Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- López, M. (2018). “*Evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*”. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Lozano, L. (2018). “*Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018*”. Cajamarca, Perú: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Lugo-Arias , J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabon, D., Arango, J., De la Puente, M., & Silva , J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, Vol. 1, pp. 1-8, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>.
- Maldonado, V. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Perú: Cepis.
- Mannise, R. (Jueves de Septiembre de 2012). *Ecocosas*. Obtenido de <http://ecocosas.com/eco-ideas/metodo-centenario-y-sustentable-para-purificar-agua-el-nopal/>
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental. Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. México: Alfaomega.

- Miller, S., Fugate, E., Craver, V., Smith, J., & Zimmerman, J. (2008). *Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of Opuntia spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment*. Environmental Science y Technology, 25-26.
- Mines, Jr., R. (2014). Chapter 3: Water and wastewater characteristics. En R. Mines, Jr., *Environmental Engineering: Principles and Practice* (págs. 103-138). The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, ISBN 978-1-118-80145-1.
- 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*”. Ecuador: Universidad Técnica del norte.
- Nemerow, N., Agardy, F., Sullivan, P., & Salvato, J. (2009). *ENVIRONMENTAL ENGINEERING*. Hoboken, New Jersey. EE.UU.: John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-470-08303-1.
- Noureddine, B., Khalid, O., Mohamed, A., & Mohammed, E. (2012). Dried prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes as a low-cost and eco-friendly biosorbent for dyes removal from aqueous solutions. *ELSEVIER*, 01-02.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). *Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in Moringa oleifera seeds*. Inlaterra: Water Res.
- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabón, L. E. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia, Vol.8, No.1* , pp.19-27, <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n1/v8n1a03.pdf>.

- 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*. Colombia: AVANCES Investigación en Ingeniería.
- Palau, M. (2016). *Calidad del agua de consumo humano en España*. Ministerio de Sanidad, Servicios sociales e igualdad.
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011). *Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de opuntia wentiana (britton & rose)/(cactaceae)*. Redieluz, Vol 1, pp. 27 - 33.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/redieluz/article/view/521/520>.
- Poma, W., & Alcántara, G. (2011). *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del Departamento de Cajamarca*. GORE-CAJ.
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). *Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua*. Colombia: Revista Facultad de Ciencias Básicas.
- Ramirez, M. (2017). *Propiedades funcionales de hoy*. México: OmniaScience.
- Razuri, K. (2017). *Disminución del contenido de la DBO5 y la DQO mediante coagulantes naturales (Aloe Vera L. y Opuntia ficus indica) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres*. Perú: Universidad César Vallejo.
- Ribeiro, R., Seolin, L., & Medina, S. (2015). *ÁGUA: tratamento, efluentes e lodos*. São Paulo: ANAP.

- Salud, O. M. (Martes de Octubre de 2018). *Sostenibilidad para todos*. Recuperado el
Miercoles de Septiembre de 2019, de
<https://www.sostenibilidad.com/agua/potabilizacion-agua-otros-retos-futuros/>
- Sánchez, O., Herzig, M., Eduardo, P., Márquez, R., & Zambrano, L. (2015). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Estados Unidos: Wildifile.
- Sánchez, R. (2015). t-Student. Usos y abusos. *scielo*, 1.
- Severiche, C., Castillo, E., & Acevedo, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. Colombia: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso.
- Silva, A. (2018). *Influencia de la vegetación ribereña en la calidad del agua en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Silva, N. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Singley, J. (1986). *Revisión de la teoría de coagulación del agua*. Estados Unidos: Universidad de la Florida.
- Trivelli, C. (Jueves de Agosto de 2019). Más agua (pero limpia). *El Comercio*, pág. 12.
- Trujillo, F. (2004). *Soluciones acuosas. Teoría y Aplicaciones*. Colombia: Universidad de Medellín.
- Valderrama, J. (2013). *Información tecnológica*. Chile: CIT.

- Valladares, M., Valerio, C., De las Cruz, P., & Melgoza, R. (2016). *Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales*. Colombia: Universidad de Medellín.
- Vargas, L. (2004). *Procesos unitarios y plantas de tratamiento*. Lima-Perú: Cepis.
- Vargas-Solano, S. V., Rodríguez-González, F., Martínez-Velarde, R., Morales-García, S., & M.P.Jonathan. (2022). Removal of heavy metals present in water from the Yautepec River Morelos México, using *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Environmental Advances, Volume 7*, 100-160, <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100160>.
- Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I., & Martínez García, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Rev. Colomb Biotecnol, Volumen XV*, 137 - 144. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v15n1/v15n1a14.pdf>.
- Villanueva, L., Yaya, J., & Coaquira, M. (2017). *Efecto de floculantes naturales penca de la tuna en el tratamiento de las aguas superficiales de acequias de las zonas agrícolas del valle de San Vicente de Cañete*. Cañete - Perú: Universidad Privada Sergio Bernales.
- Wan, J., Chakraborty, T., Chunbao, C., & Madhumita, R. (2018). *Treatment train for tailings pond water using Opuntia ficus-indica as coagulant*. Canadá: Elsevier.
- Weber, W. (2021). *Control de la calidad del agua*. Reverte S.A.
- Worch, E. (2019). *Drinking Water Treatment*. Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- Zhang, J., Zhang, C., Luo, Y., & Yang, H. (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *ELSERVIER*, 4-6.

CAPÍTULO VII. ANEXO O APÉNDICE

Anexo 01: Panel fotográfico

Foto N° 1: Recolección de paletas de tuna



Foto N° 2: Pesaje de la paleta de tuna



Foto N° 3: Lavado de la paleta de tuna



Foto N° 4: Extracción de espinas



Foto N° 5: Pelado



Foto N° 6: Cortado



Foto N° 7: Extracción de la pulpa



Foto N° 8: Pulpa cortada en cubos



Foto N° 8: Mucílago extraído



Foto N° 9: Pesaje del mucílago

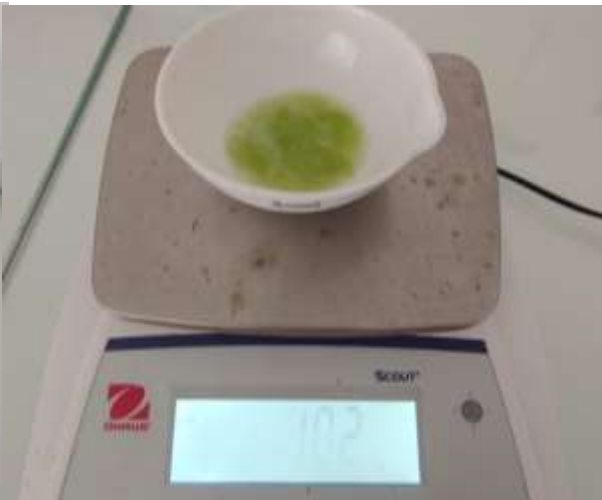


Foto N° 10: Medición de mucílago en vaso beaker



Foto N° 11: Preparación del coagulante en una disolución con agua destilada



Foto N° 12: Disolución del coagulante



Foto N° 13: Toma de muestra en el Río Grande



Foto N° 14: Medición de pH de la muestra



Foto N° 15: Adición del coagulante a la muestra en diferente concentración con prueba de jarras



Foto N° 16: Aplicación de la prueba de jarras



Foto N° 17: Medición de pH de los resultados



Foto N° 18: Medición de turbiedad



Foto N° 19: Peso del Picnómetro de vidrio para el cálculo de la densidad del coagulante



Anexo 02: Ficha de laboratorio

ID	Código	Concentración de coagulfoculante%	Volumen de coagulfoculante ml	Muestra L	Tiempo de agitación	Tiempo de reposo	Agitación RPM	Volmen de análisis	Turbidez NTU	pH final
0	INIGO	0	0	0,5	0	0	0	0	153,5	7,68
1	Prueba	3	1	0,5	10	20	180	20	25,4	7,81
2	Prueba	3	3	0,5	10	20	180	20	64,6	7,73
3	Replica	3	1	0,5	10	20	180	20	50,7	7,77
4	Replica	3	3	0,5	10	20	180	20	57,1	7,71
5	Prueba	3	1	0,5	10	20	120	20	39,1	7,8
6	Prueba	3	3	0,5	10	20	120	20	70,9	7,74
7	Replica	3	1	0,5	10	20	120	20	31,7	7,73
8	Replica	3	3	0,5	10	20	120	20	63,6	7,67
9	Prueba	3	1	0,5	10	20	60	20	31,2	7,70
10	Prueba	3	3	0,5	10	20	60	20	42,9	7,68
11	Replica	3	1	0,5	10	20	60	20	29,5	7,66
12	Replica	3	3	0,5	10	20	60	20	52,5	7,60
13	Prueba	3	1	0,5	10	20	30	20	68	7,67
14	Prueba	3	3	0,5	10	20	30	20	90,7	7,64
15	Replica	3	1	0,5	10	20	30	20	62,2	7,67
16	Replica	3	3	0,5	10	20	30	20	69,9	7,66
17	Prueba	1	1	0,5	10	20	180	20	41,8	7,69
18	Prueba	1	3	0,5	10	20	180	20	98,4	7,64
19	Replica	1	1	0,5	10	20	180	20	42,2	7,68
20	Replica	1	3	0,5	10	20	180	20	116	7,63
21	Prueba	1	1	0,5	10	20	120	20	60,7	7,71
22	Prueba	1	3	0,5	10	20	120	20	86,7	7,63
23	Replica	1	1	0,5	10	20	120	20	49,5	7,62
24	Replica	1	3	0,5	10	20	120	20	69,4	7,57
25	Prueba	1	1	0,5	10	20	60	20	61,5	7,61
26	Prueba	1	3	0,5	10	20	60	20	84,9	7,57
27	Replica	1	1	0,5	10	20	60	20	52,7	7,52
28	Replica	1	3	0,5	10	20	60	20	71,3	7,60
29	Prueba	1	1	0,5	10	20	30	20	62	7,68
30	Prueba	1	3	0,5	10	20	30	20	68,6	7,65
31	Replica	1	1	0,5	10	20	30	20	76,9	7,64
32	Replica	1	3	0,5	10	20	30	20	77,3	7,60

Anexo 03: Etiqueta para muestra de agua

Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:			Hora:
Muestreado por:			
Parámetro requerido:			
Preservada:	SÍ	NO	Tipo reactivo:

Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:			Hora:
Muestreado por:			
Parámetro requerido:			
Preservada:	SÍ	NO	Tipo reactivo:

Anexo 04: Registro de identificación del punto de monitoreo

Registro de Identificación del Punto de Monitoreo

Nombre del cuerpo de agua:

Clasificación del cuerpo de agua:
(Categorizado de acuerdo a la R.J. N°202-2010-ANA y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero:
(Código: Pfltsdter)

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:
(Según lo indicado en ítem 6.5.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción:
(Origen/Ubicación)

Accesibilidad:
(Describir detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)

Representatividad:
(Describir el tramo de río o quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)

Finalidad del monitoreo:
(Describir la finalidad del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminante, ...)

Reconocimiento del Entorno:
(Indicar referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo.)

UBICACIÓN

Distrito: Provincia: Departamento:

Localidad:

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas: Proyección UTM Geográficas

Norte/Latitud: Zona: (17, 18 o 19; para UTM solamente)

Este/Longitud: Altitud: (metros sobre el nivel del mar)

