

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“EFECTO FLOCULANTE DE LA *Opuntia ficus indica*  
PULVERIZADA PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DE  
UNA SOLUCIÓN PATRÓN DE ARCILLA”**

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**Autor:**

Melissa Susana Melgarejo Salazar

**Asesor:**

Dra. Sc. Irma Geralda Horna Hernández  
<https://orcid.org/0000-0003-3961-0933>

Lima – Perú  
**2023**

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	Margeo Javier Chuman López	45997406
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	Angelica Ysabel Miranda Jara	40670962
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	Margarita Cateriano Calderón	40529938
	Nombre y Apellidos	N° DNI

**INFORME DE SIMILITUD**

tesis

## ORIGINALITY REPORT

**4%**

SIMILARITY INDEX

**4%**

INTERNET SOURCES

**1%**

PUBLICATIONS

**2%**

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

**1****repositorio.ucv.edu.pe**

Internet Source

**1%****2****repositorio.unfv.edu.pe**

Internet Source

**1%****3****repositorio.unh.edu.pe**

Internet Source

**1%****4****bdigital.unal.edu.co**

Internet Source

**1%****5****repositorio.unicartagena.edu.co**

Internet Source

**1%**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación, principalmente a DIOS, por permitirme hoy en día continuar y cumplir esta meta. A mis padres, hermanos, abuelos y a las personas que siempre estuvieron apoyándome, a la cuales nunca imagine que me brindarían su aprecio en esos momentos, forjando a que siga mi meta a cumplir y no derrumbarme a mitad del camino. Ellos son mi motivo a seguir, mi fortaleza por lo que hoy en día sigo de pie.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios porque a pesar de muchas caídas en el camino, nunca me soltó de su mano y me dio las fuerzas necesarias para seguir por el camino correcto. A mi familia, personas consideradas parte de ella y aquellas personas que no imagine volver a ver, pero demostraron ese aprecio que se mantuvo desde un inicio, pues, todos ellos fueron mi soporte, del cual me inculcaron muchos valores, experiencias y gracias a ello, pude aplicarlo en este trayecto de vida. Finalmente, a la Dra. Irma Geralda Horna Hernández, por su experiencia y el seguimiento que se ha llevado a cabo, para lograr realizar este presente trabajo de investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	11
RESUMEN .....	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Realidad problemática .....	13
1.2. Formulación del problema .....	34
1.2.2. Problemas específicos.....	34
1.3. Objetivo .....	34
1.3.2. Objetivos específicos.....	34
1.4. Hipótesis .....	35
1.4.2. Hipótesis específicas.....	35
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	36
2.1 Tipo de investigación .....	36
2.2 Población y muestra .....	38
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	39
2.3.1. Técnica del Test de Jarras.....	39

2.3.2. Técnica de la determinación de la turbiedad.....	40
2.3.3. Técnica de Gabinete.....	40
2.4. Validez y conformidad de la información .....	42
2.5. Procedimiento .....	42
2.5.1. Preparación de las muestras de agua a base de disoluciones de una solución patrón de arcilla. ....	43
2.5.2. Preparación del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada.....	45
2.5.3. Cálculo del volumen de la dosis de la ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	46
2.5.4. Ensayo del Test de Jarras .....	47
2.5.5. Evaluación final del parámetro de Turbidez de las muestras tratadas .....	49
2.5.6. Cálculo del porcentaje de remoción de turbidez de las muestras analizadas.....	52
RESULTADOS.....	54
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	69
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS.....	78
ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA PARA ELABORACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACION .....	89
ANEXO N° 2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO PH.....	91
ANEXO N° 2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO TURBIDIMETRO.....	92
ANEXO N° 3: PANELES DE FOTOGRAFÍAS.....	93
FOTOGRAFIA N°2: Equipo Turbidímetro HACH 2100Q.....	94
FOTOGRAFIA N°5: Agregando dosis respectivas a las muestras de agua turbias.....	95
FOTOGRAFIA N°7: Equipo de Microscopio STAR usando el lente 10X .....	96
FOTOGRAFIA N°9: Muestra microscópica de sedimentos precipitados .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Diseño experimental al Azar</i>	37
Tabla 2	<i>Materiales, herramientas, equipos e insumos en la experimentación de la investigación</i>	41
Tabla 3	<i>Valores de los parámetros de turbidez y Ph del floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada</i>	54
Tabla 4	<i>Resultados del floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada en la remoción de la turbidez con dosis de 70 mg /L</i>	55
Tabla 5		56
	<i>Resultados del floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada en la remoción de la turbidez con dosis de 90 mg/L</i>	56
Tabla 6	<i>Resultados del floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada en la remoción de la turbidez condosis de 110 mg/L</i>	58
Tabla 7	<i>Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez inicial general</i>	59
Tabla 8	<i>Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez final y porcentaje de remoción con dosis de 70 mg/L del floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada</i>	60
Tabla 9	<i>Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez inicial y porcentaje de remoción con dosis de 90 mg/Ldel floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada</i>	61
Tabla 10	<i>Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez final y porcentaje de remoción con dosis de 110mg/Ldel floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada</i>	62
Tabla 11	<i>Correlación entre variables del porcentaje de remoción y dosis del floculante (Opuntia ficus indica) pulverizada</i>	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Composición química de la ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	28
Figura 2	.....	28
	Azúcares del mucílago de la ( <i>Opuntia ficus indica</i> ). .....	28
	.....	28
Figura 3	Interpretación del coeficiente “r” de Pearson. ....	32
Figura 4	Muestras de agua con turbidez de 60.97NTU, 170 NTU y 534NTU .....	44
Figura 5	Muestras de agua con turbidez de 29.7NTU, 70.3 NTU y 300NTU .....	44
Figura 6	Concentración al 0.5 % de la ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	45
Figura 7	Aplicando dosis de ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en las muestras de agua .....	48
Figura 8	Equipo de test de jarras en funcionamiento .....	48
Figura 9	Muestras de turbidez iniciales.....	50
Figura 10	Muestras tratadas con floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	50
	Nota: En esta imagen se logra observar las muestras de agua después de realizar el tratamiento con el floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizado, con una dosis de 70mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (26.8 NTU ,47.8NTU ,57.1NTU), con una dosis del 90 mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (23 NTU ,41.5NTU ,53NTU) y con una dosis de 110mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (16NTU ,36.25NTU ,50.5NTU). .....	50
Figura 11	Muestras de turbidez iniciales.....	51
Figura 12	Muestras tratadas con floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada .....	51
Figura 13	Formula del porcentaje de remoción de turbidez.....	52
Figura 14	Comparación de la variación de la turbidez antes y después de añadir 70 mg /L del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada.....	55
Figura 15	Comparación de la variación de la turbidez antes y después de añadir 90mg/L del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	57

Figura 16	Comparación de la variación de la turbidez antes y después de añadir 110 mg/L del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada.....	58
Figura 17	Comparación entre la concentración de turbidez según las dosis (70mg/L) (90mg/L) (110mg/L) del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada.....	64
Figura 18	Comparación entre las concentraciones promedio de la turbidez inicial y final según las dosis (70mg/L)(90mg/L) (110mg/L) del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada.....	65
Figura 19	Comparación entre los porcentajes de remoción promedio de turbidez según las dosis (70mg/L) (90mg/L)(110mg/L) del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada.....	66
Figura 20	Correlación entre variables del porcentaje de remoción promedio y dosis de 70 mg/L ,90mg/L y 110mg/L del floculante ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) pulverizada. ....	68

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Porcentaje de remoción.....	30
-------------	-----------------------------	----

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo medir el efecto floculante de la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada a tres concentraciones :70 mg/L ,90 mg/L y 110 mg/L para la remoción de la turbidez del agua. Donde la metodología desarrollada es de una investigación de diseño experimental, enfoque cuantitativo y alcance explicativo, utilizando la técnica prueba de jarras para el proceso de la floculación. La población, estuvo establecida por 9L de agua de diferentes niveles de turbidez, cuya muestra fueron 18 muestras con 500ml cada una realizadas a base de disoluciones con arcilla (29.7 ,60.9 ,70.3 ,170 ,300 y 534 NTU), para luego analizar los parámetros de turbidez. Se obtuvo, resultados de porcentajes de remoción de turbidez promedio del 63.38 %, 65.86 % y 69.56 % con dosis de 70 mg/L ,90 mg/L y 110 mg/L respectivamente, disminuyendo el valor de la turbidez inicial promedio del agua (194 NTU). Concluyendo, que la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada presenta efecto floculante a tres concentraciones: 70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla con un porcentaje de remoción promedio sucesivamente del 63.38%, 65.86 % y 69.56% a una velocidad de agitación lenta de 20RPM en un tiempo de 20 minutos, y un tiempo de sedimentación de 60 min. Asimismo, la dosis óptima del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada es de 110 mg/L, alcanzando la máxima remoción de diferentes niveles de turbidez creadas con un patrón de arcilla. Obteniendo una correlación positiva muy alta con un coeficiente de correlación ( $r = 0.993$ ) entre las variables dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada y la remoción de la turbidez en la solución patrón de arcilla.

**PALABRAS CLAVES:** turbidez, floculante natural, (*Opuntia ficus indica*).

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Actualmente, una de cada cinco personas (20%) de la población mundial no tiene acceso a agua potable en el mundo, y se prevé que, para los 2025 dos tercios de la población mundial, o sea 66.6%, enfrentará problemas de insuficiencia de agua, y un tercio de la población global (33.3%) vivirá en escasez absoluta. Para el 2030, se proyecta que uno de cada cinco países en el mundo enfrentará penurias de agua (Nieto,2011). Asimismo, la falta de agua potable en países en vía de desarrollo es un problema creciente a nivel mundial, por lo que es necesario buscar nuevas y eficientes alternativas que brinden la posibilidad de mejorar la calidad del agua para el consumo humano u otros usos, que sea de fácil acceso y consecución para las poblaciones desfavorecidas (Ramírez y Jaramillo,2014). Sin embargo, la OMS (2019) estima que “1 de cada 10 personas (785 millones) todavía carecen de servicios básicos, incluidos los 144 millones que beben agua de superficie que no ha recibido tratamiento” (OMS,2019).

“En el Perú, la contaminación del agua es uno de los mayores problemas ambientales” (Custodio y Chávez, 2017). Como resultado, el agua cruda de ríos, lagos y arroyos transporta contaminantes, gases, polvo y microorganismos que pueden afectar la salud humana. Como tal, debe someterse a un proceso de purificación para hacerlo apto para el consumo

humano u otros usos. Este tratamiento contempla las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, lográndose después de las tres primeras etapas la clarificación del agua (Olivero et al. ,2013).

Por ello, los floculantes naturales, son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Algunos de ellos, tienen propiedades floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes o floculantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial. En muchos lugares, los nativos las usan empíricamente para aclarar aguas turbias con muy buenos resultados (Silva ,2017).

Sin embargo, según estudios realizados aprovechan especies vegetales tales como: las cactáceas. Ya que, se hace uso de estas de muy distintas maneras y aplicaciones como la clarificación de aguas, como polímero natural. Pues, esta constituye una de las familias botánicas más abundantes en el Perú, encontrándose en todos los pisos altitudinales en una gran cantidad de variedades. Es así ,que desde tiempos remotos las cactáceas, han sido importantes y han estado ligadas a una gran cantidad de culturas y pueblos latinoamericanos en muchas partes del mundo (Choque et al. ,2018). Por ende, según Ardila (2020) considera que es necesario estudiar técnicas de tratamiento de agua potable no convencionales, que puedan

ayudar a muchas personas que hoy no cuentan con este servicio o que lo poseen de manera precaria, a mejorar sus condiciones de vida, garantizando agua segura de bajo costo y de fácil implementación en comunidades pequeñas y alejadas de las zonas urbanas del país (Ardila ,2020).

Por otro lado, existen investigaciones que presentan el uso de la (*Opuntia ficus indica*) como floculante natural para la remoción de turbidez. Entre las investigaciones internacionales que más resaltan son:

Según Martínez y Gonzales (2012), evaluaron la capacidad que posee la tuna (*Opuntia ficus indica*) para remover turbidez y color presente en el agua cruda. La metodología que utilizaron es de una investigación cuantitativa de tipo experimental. Dado a ello, la (*Opuntia ficus indica*) obtuvo cambios físicos, usando operaciones para obtener el coagulante-floculante en polvo. Las muestras de agua las tomaron del Canal del Dique Puerto Badel. Bolívar con un turbidez inicial de 170.96 NTU y tuvieron en cuenta la dosis de 50 mg/L, 75 mg/L y 90mg/L (*Opuntia ficus indica*) con la velocidad de agitación del 40, 30 y 20 RPM. Asimismo, como resultados establecieron que con una turbidez inicial de 170.96 NTU logro una reducción de 24.35 NTU, dada la condiciones manejadas durante las pruebas de jarra logró remover un gran a dosis superiores de 50 mg/L porcentaje de turbidez (85.76%) usando como la dosis de 50 mg/l con una agitación de 40 rpm. En conclusión, apreciaron una remoción de la turbidez a medida que aumenta la dosis de coagulante-

floculante al incrementar la agitación. Sin embargo, con una agitación baja de 20 y 30 rpm con dosis más alta (90 mg/l) también alcanzaron una mejor remoción de turbidez. Siendo así, favorable para utilizar este coagulante- floculante en otras prácticas similares (Martínez y Gonzales,2012).

Según Olivero et al (2014), evaluaron la eficiencia de la tuna (*Opuntia ficus indica*) como agente coagulante en el proceso de clarificación de las aguas del río Magdalena. La metodología que usaron fue de carácter experimental, donde se extrajeron el mucílago de la cactácea el proceso del centrifugado y secado. Lo cual, su muestra de agua tuvo una turbidez inicial de 174 NTU, se realizaron ensayos aplicando la prueba de jarras que se efectuó a diferentes concentraciones de 35 mg/L y 40 mg/L, con distintas velocidades de agitación, 100 y 200 rpm. Tal resultado, lograron reducir la turbidez hasta en un 83.66% con una turbidez de 24.43 NTU con una dosis de 40 mg/L. En conclusión, evidenciaron la eficiencia que tiene el mucilago extraído de la tuna (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua de dichas muestras experimentales (Olivero et al ,2014).

En el estudio de Jaco et al (2022), evaluaron la eficiencia del (*Opuntia ficus indica*) como coagulante en el tratamiento de las aguas grises. La metodología que utilizaron fue de manera experimental, realizaron una serie de procesos hasta obtener el polvo a partir de la (*Opuntia ficus indica*) y aplicarlo en la prueba de jarras con una agitación

rápida de 100 rpm durante 1 minuto y una mezcla lenta de 30 rpm durante 20 minutos, dejándolo reposar para que seguidamente analicen los datos de algunos parámetros requeridos en dicho estudio. Dado los resultados, con una turbidez inicial de 625 NTU para reducirla lo obtuvieron con una dosis optima de 1.625 g/L, el pH óptimo es de 8.1 y la turbiedad final es de 61.95 UNT con una remoción del 88.19%, como también en otros parámetros el 96.67% de SST ,72,98% de DBO5 y 72.81% de Nitrito. En conclusión, son una buena opción para la desestabilización de partículas siendo su aplicación una buena alternativa en el tratamiento primario (Jaco et al ,2022).

En el estudio de Villabona et al (2013) identificaron componentes asociados a su poder coagulante para la remoción de turbidez y de color en aguas crudas. La metodología que utilizaron fue de diseño experimental, que involucra cinco etapas para obtener el coagulante en polvo. Asimismo, la muestra obtuvo una turbidez inicial de 171 NTU y analizaron el efecto de tres dosis de 50, 75 y 90 mg/L, sobre el color, la turbidez residual y el pH del agua. Obteniendo como resultado, una remoción de turbidez de 72% cuando se aplicó coagulante en una dosis de 90 mg/L a agua cruda con una turbidez inicial de 171 NTU y 50% del color. En conclusión, todo lo mencionado evidenció su potencial aplicación como alternativa a los coagulantes sintéticos (Villabona, et al ,2013).

Según Vaca et al. (2014) en su investigación evaluaron la efectividad

del polvo seco de nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales. La metodología que requirieron fue de manera experimental usando el equipo test de jarras con una agitación del 150 rpm con un tiempo de 3 minutos para analizar parámetros tales como de turbiedad, DQO y coliformes totales. La muestra utilizada fue sacada de un sistema de drenaje con una turbidez de 310 NTU, analizando tres concentraciones 10 mg/L ,30 mg/L,50mg/L y 70 mg/L. Obteniendo como resultado, una remoción de turbidez del 91.6% para la concentración del 70 mg/L del coagulante natural agregado. En conclusión, se observaron la efectividad como coagulante primario (*Opuntia ficus indica*), ya que, observaron una reducción de un 65.2 % hasta un 91.6% para el tratamiento de las aguas crudas de manera favorable debido que removi6 un alto porcentaje de turbidez (Vaca et al. ,2014).

Según el estudio de Terán (2022), evaluaron la eficiencia del nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural para la disminución de la turbidez en mencionado río .Asimismo ,la metodología que optaron fue experimentalmente usando la prueba de jarras y aplicando una solución harina (*Opuntia ficus indica*) en un 8 % .Pues, la muestra que recolectaron del río Carrizal tuvo una turbidez de 194 NTU y SST fue de 572,13 mg/L, optando las dosis de 10ml ,20 ml y 40ml del coagulante-floculante natural . Por ende, los resultados obtenidos se dedujeron que la harina del nopal llego a presentar un 78,79% de remoción de turbidez, aplicando 10 ml de harina

diluida, y el 78,77% para SST. En conclusión, esta harina (*Opuntia ficus indica*) logro óptima remoción de turbidez en sus muestras experimentales, siendo ser de bajo costo y accesible (Terán,2022).

A continuación, se describe los antecedentes a nivel nacional:

Según López (2018), evaluaron la eficiencia de la cactácea (*Opuntia ficus indica*) usándola como coagulante-floculante natural para remover la turbiedad presente en las muestras de agua sintética preparadas. La metodología utilizada fue de tipo experimental, donde realizaron procesos para extraer el coagulante natural en polvo y así usarlo en el equipo test de jarras. Asimismo, las muestras fueron creadas en el laboratorio hasta llegar a la turbidez que establecieron 20, 50, 100, 300 y 500 UNT aplicando 6 dosis tales como (10, 30,50, 70, 90, 110 mg/L) a una agitación lenta de 20 RPM a 20 min. Pues, obtuvieron como resultado la dosis al ser aplicado en muestras de agua de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT fueron 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L, respectivamente con un rango de remoción de turbiedad del 58% al 86%; para muestras de turbidez baja (20-50 UNT) la concentración óptima fue del 2%; para muestras de turbiedad media (100-300 UNT) fue del 1%; y para muestras de 500 UNT fue del 0.5%. En conclusión, efectivo al ser aplicado en muestras de turbiedad bajas, medias y altas, mejorando su eficiencia en muestras de turbiedad de alta turbidez (López,2018).

En el estudio de Samame (2019), determinaron la dosis óptima del

mucilago de (*Opuntia ficus indica*). La metodología que utilizaron es de diseño experimental, llevándolo a cabo en la prueba de jarras a una velocidad rápida de 150 rpm por 5 minutos y una agitación lenta de 20 rpm por 20 minutos aplicando dosis de (*Opuntia ficus indica*) 25 ml ,50 ml,75 ml y 100 ml y así analizar otros parámetros tales como: Turbidez (60 NTU), Conductividad Eléctrica mS/cm(0.401 mS/cm), pH(8.17) ,DQO mg/L(299 mg/l) DBOmg/L(253.5 mg/) . Dado los resultados con una turbidez inicial de 60 NTU con una dosis de 100ml de (*Opuntia ficus indica*) con un porcentaje de remoción del 91,5%, Conductividad 0.495 mS/cm.,PH 7.44 ,DQO 84 mg/L,DBO 24.54 mg/. En conclusión, por parte de los análisis que obtuvieron se observó que mientras la dosis fue alta hubo favorables resultados removiendo los valores de los parámetros iniciales (Samame ,2019).

En el estudio de Álvarez y Ccahua (2021), evaluaron la eficiencia de remoción de turbidez usando biocoagulantes (*Echinopsis peruviana*) y (*Opuntia ficus indica*) en muestras preparadas con suelo del rio Tucuri.La metodología que utilizaron fue de una investigación experimental, en el cual se extrajeron el coagulante natural mediante diferentes procesos tales como: pelado, secado, molienda, cernido, despigmentación del color verdoso ,hasta quedar seco ,para luego ser utilizado en los tratamientos utilizando como técnica la prueba de jarras con una velocidad lenta de 30 RPM durante 20 min .Dado los resultados con una turbidez inicial de (500

UNT), lograron reducirlo a una turbidez final de 81 UNT obtenido por dosis óptima de 90 mg/L de (*Opuntia ficus indica*), siendo esta la dosis en la cual obtuvieron el 83.8 % y para 85.7 % (*Echinopsis peruviana*) de remoción para la turbidez.

En conclusión, observaron una influencia significativa, ya que, cual la dosis es alta la efectividad de remoción es muy favorable (Álvarez y Ccahua, 2021).

En el estudio de Gaspar (2021), compararon la disminución de turbidez utilizando la penca de tuna y sulfato de aluminio en el proceso de coagulación para el tratamiento de agua. La metodología que utilizaron fue un diseño experimental, recolectando muestras de agua arrojando una turbidez inicial de 300 UNT. En el proceso de prueba de jarras utilizaron una velocidad de 50 rpm durante 40 minutos, se realizaron dos dimensiones que fueron la dosis del coagulante y tiempo. La primera dimensión con 4 niveles (100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L y 360 mg/L) y la segunda dimensión tuvo 3 niveles (20 minutos, 30 minutos y 40 minutos). Dado los resultados, obtuvieron un porcentaje de reducción de turbidez del 99,62 % al usar la penca de tuna con una dosis de 300 mg/L, tiempo de 40 minutos. Sin embargo, al usar el sulfato de aluminio con una dosis de 300 mg/L obtuvieron un 98,41 % de remoción y tiempo de 40 minutos. En conclusión, la tuna obtuvo la mayor reducción de turbidez del agua con respecto al coagulante de sulfato de aluminio (Gaspar, 2021).

En el estudio de Villanueva (2019), determinaron el efecto de los mucílagos deshidratado de tuna (*Opuntia ficus indica*) y de San Pedro (*Echinopsis pachanoi*). La metodología que utilizaron es experimental, logrando realizar fases para obtener la extracción de mucílago deshidratado y así analizar mediante la técnica prueba de jarras. Para el análisis, se tuvieron un rango de turbiedad de la muestra inicial de 500 a 1000 UNT donde utilizaron tres concentraciones 0.75 g/L, 1 g/L y 1.25 g/L. Dado a ello, los resultados demostraron la efectividad de la (*Opuntia ficus indica*) con un porcentaje de remoción de turbiedad del 62 % a 90 % obteniendo una concentración óptima de 1.25 g/L .En conclusión ,la tuna es una alternativa para ser aplicada como coagulante -floculante dada su eficiencia de remoción en las aguas turbias (Villanueva,2019).

Acevedo y Huamán (2021) con título “Eficiencia del coagulante del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica – 2019” evaluaron la eficiencia del coagulante de mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la remoción de la turbidez del río mencionado. La metodología aplicada fue muestras con turbiedad inicial entre 1561 a 1568 (NTU) aplicando dosis de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml/L para analizarla seguidamente mediante el uso de la técnica prueba de jarras. Lo cual, brindaron como resultados una dosis más eficiente de 40 ml/ reduciendo una turbiedad post tratamiento de 10.47 NTU. Obteniendo una eficiencia de remoción de turbiedad al 99.33%. En conclusión, la (*Opuntia*

*ficus indica*) fue la más eficiente para remover valores altos de turbiedad, dosis que logró obtener el mayor porcentaje de eficiencia de remoción (Acevedo y Huamán, 2021).

Posteriormente, se mencionarán las bases teóricas que complementará la investigación de acuerdo a las variables reflejadas en el título.

Según Fernández (2019) “el agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta; se la encuentra en océanos, lagos, ríos; en el aire, en el suelo. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable modela la tierra” (Fernández ,2019).

Agua de consumo humano según MINSA (2011) menciona que es aquel “agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal” (MINSA,2011).

La calidad del agua, según la ONU (2014) es la calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterráneo, depende de factores naturales y actividades humanas. Sin la actividad humana, la calidad del agua estaría determinada por la erosión del lecho mineral, procesos de evapotranspiración atmosférica y deposición de lodo y sal, lixiviación natural de materia orgánica y nutrientes del suelo bajo la influencia de factores hidrogeológicos, así como procesos biológicos en el medio acuático que pueden cambiar la composición físico-química del agua. (ONU,2014).

La contaminación del agua, según Pérez y Gardey (2016) menciona

que se vincula a una alteración de las condiciones normales de este líquido indispensable para la vida. De esta manera, la contaminación hace que el agua no sea apta para el consumo ni para la agricultura o la industria. A su vez, el agua contaminada puede imposibilitar el desarrollo de actividades recreativas (Pérez y Gardey,2016).

“La turbidez del agua, es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La turbidez, es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra” (Andino y Dolores, 2011). Asimismo, mencionan que “la turbidez es la opacidad de un cuerpo de agua formado por sustancias insolubles, suspendidas o coloidales. Dado, a que el aumento de partículas provocará que la turbidez en el agua sea más alta” (Marcovecchio y Freije,2013). Sin embargo, esta clarificación puede ser más o menos completa según la turbiedad de agua, su color y su contenido de materia en suspensión o coloidales y de materias orgánicas. Puede producirse en función de estos distintos factores: por coagulación total, floculación, decantación y filtración o por coagulación parcial, micro floculación y filtración (Orellana,2005).

Los coloides, son aquellos como “partículas que se encuentran en el agua de 1 a 1.000.000 de micras de diámetro, cargada eléctricamente, siendo

la responsable de la principal causa de la turbidez, cuyo comportamiento depende de su naturaleza y origen” (Aldana ,2012). Asimismo, tienen una “carga superficial, generalmente negativa. Pues, aquello evita que se acerquen unos a otros, lo cual permiten que se encuentren suspendidos. Por esta razón, para eliminarlos se debe agregar una sustancia llamada "coagulante"” (Vargas ,2004).

Sin embargo, algunas de las técnicas para remoción de turbidez que fueron empleadas en la actualidad son tales como: “técnica Semillas de (*Moringa Oleifera*) para coagulación, usando dos metodologías: filtración lenta directa en mantos sintéticos no tejidos y sedimentación simple” (Paterniani et al. ,2009). Asimismo, “técnica: tubos helicoidalmente enrollados, como un reactor de coagulación-floculación junto con un sistema decantador convencional” (Soares y Costa,2017); “técnica: filtro cerámico casero de biochar-arcilla” (Chaukura et al.,2020); “técnica: coagulación por medio de (*Moringa oleifera* y *Cassia Fistula*)” (Lugo et al. ,2020); “técnica: uso de tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante-floculante natural” (Villabona et al.,2013).

Los coagulantes, “tienen la función de desestabilizar las partículas para favorecer su eliminación. Asimismo, pueden ser metálicos, poliméricos o polielectrolito encontrándose de manera sintéticos y naturales” (Martínez y Gonzales ,2012).

Los floculantes orgánicos, son “polímeros obtenidos a partir de

productos naturales como algas (alginato), gomas, almidones de origen vegetal y derivados de la celulosa. Se obtiene a partir de algas, especialmente del tipo kelp, para extraer ácido algínico, que por su origen natural se utiliza para tratar el agua” (Huerta,2022).

Los coagulantes-floculantes naturales, según Guzmán et al. (2013) representa una fuente alternativa de gran potencial sin explotar. Entre el grupo de sustancias que se sabe que tienen tales propiedades aglomerantes se encuentran una serie de compuestos orgánicos de origen vegetal, que se pueden obtener de los tallos o semillas de diversas plantas, como (Moringa Oleifera), atún, frijoles, maíz y otros (Guzmán et al.,2013).

Por otro lado, según Bravo (2017) indica que la coagulación-floculación, son procesos fisicoquímicos utilizados para eliminar las partículas coloidales de las aguas residuales. Este fenómeno se lleva a cabo al adicionar un agente coagulante o floculante, el cual desestabiliza las cargas electrostáticas de las partículas al tiempo que origina una compresión de la capa difusa que rodea los coloides, el cual permite la formación de flóculos a través de un mecanismo de puentes entre partículas, obteniendo una malla porosa en función de su radio efectivo, facilitando así la formación de macro flóculos. Asimismo, la floculación contribuye durante la agitación lenta, dado, que permite que los flóculos se aglomeren, ya que, una mezcla intensa podría romperlos (Bravo,2017).

Por otro lado, la tuna (*Opuntia ficus indica*), es una cactácea que se

encuentra presente en zonas áridas y semiáridas, con gran diversidad de especies y amplia distribución geográfica en México. Por su composición nutricional, se considera un buen producto alimenticio, así como una buena opción de forraje en zonas desérticas. Se han descrito también muchas propiedades funcionales, incluyendo el contenido de fibra dietética y de pectina (Torres et al., 2015).

El mucílago de la tuna, según Morejón (2017) 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. De los análisis efectuados se detectó la presencia de polisacáridos en diferentes porcentajes” (Morejón ,2017).

Asimismo, “la caracterización de la (*Opuntia ficus indica*) para su uso como coagulante- floculante natural tiene un pH medianamente ácido, y que contiene un alto porcentaje de humedad, y pequeñas proporciones de saponinas, de flavonoides, y de sales minerales de calcio y hierro” (Ortiz et al., 2013). Por ende, “el concentrado de tuna es un coagulante-floculante de origen natural con diversos efectos beneficiosos, el mismo que puede utilizarse en la primera fase del tratamiento de aguas” (Mamani,2019).

Según Trachtenberg y Mayer (2018) los estudios histoquímicos muestran grandes cantidades de polisacáridos ácidos que obtienen este vegetal, pero no proteínas. De acuerdo con Figura 1 el mucilago (*Opuntia ficus indica*) está compuesto principalmente de oxígeno y carbono con un

51% y 42% respectivamente. Asimismo, en la figura 2 se logra observar los azúcares que se encuentran distribuidas predominando la Arabinosa (Trachtenberg y Mayer, 1981).

Según (Trachtenberg y Mayer, 1981) refleja una figura de la composición química de la (*Opuntia ficusindica*).

### Figura 1

Composición química de la (*Opuntia ficus indica*)

Na	Ca	Mg	O	C	H	S	N
-	0.022%	0.013%	51.12%	42.57%	6.31%	-	-

*Nota: La figura representa la composición química que obtiene la (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez en el agua. Tomado Trachtenberg y Mayer, 1981.*

### Figura 2

Azúcares del mucílago de la (*Opuntia ficus indica*).

Componente	Porcentaje %
Arabinosa	67.27
Xilosa	20.41
Galactosa	6.27
Ramnosa	5.43

*Nota: La figura representa azúcares que obtiene el mucílago de la (*Opuntia ficus indica*). Tomado Trachtenberg y Mayer, 1981.*

La pectina es un polisacárido compuesto por metoxilo, metil esterificado y ácido D -galacturónico gracias a ello, las cadenas formadas por ácido galacturónico, es capaz de formar coloides, esto también gracias a las ramificaciones formadas por polisacáridos como la xiloxa, ramnosa, galactosa (Chasquibol et al. ,2008). De tal manera, el mucilago de la (*Opuntia ficus indica*) es una sustancia gelatinosa que es un biopolímero que obtiene polisacáridos que son parecidas a las pectinas (Morejón ,2017). Asimismo, los azúcares que atribuyen el mucílago como la arabinosa, xiloxa, galactosa y ramnosa, al ser estas sustancias polisacáridos permiten aglutinar los sólidos suspendidos y sustancias presentes en el agua, lo cual, actuaría como un floculante natural (Loza, et al ,2021).

La velocidad de agitación lenta, permite reunir lentamente los flóculos; si se realiza una agitación rápida, esta rompe las uniones y difícilmente se vuelven a formar en el tamaño óptimo. Por ello, debe realizarse de forma uniforme e intensa en la muestra de agua para tener certeza que la mezcla del coagulante en el agua sea eficiente realizado y se dé la desestabilización para la formulación de flóculos para la sedimentación (Domínguez ,2010).

Tiempo de sedimentación, es aquel “proceso donde las partículas con mayor peso que el agua y que se encuentran en su seno en suspensión, son

removidas por la acción de la gravedad; lo cual, se da una sedimentación, cuyas partículas al unirse, van aumentando su masa y su velocidad de sedimentación” (Contreras et al., 2015). Asimismo, “tiende a disminuir la turbidez con un tiempo de sedimentación adecuado, después de terminado el proceso de floculación” (Puma,2020).

La dosis óptima, se menciona así a la “cantidad de una determinada sustancia para lograr la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico determinado” (Aldana, 2012). De tal manera, “la dosis y la remoción presentan un comportamiento polinomial cuadrático, esto indica que solo hay un punto de dosis óptima para la remoción eficiente durante un tiempo de análisis “(Salvagiotti et al.,2011).

Con respecto al pH, “existe un determinado intervalo de pH, el cual favorece la labor del coagulante, cuando la alcalinidad del agua no es suficiente, para activar el coagulante se deben agregar sustancias alcalinas para alcanzar el pH óptimo del coagulante-floculante” (Martínez y González, 2012).

“Remover es justamente quitar o sacar algo de su lugar, independientemente de que sea reemplazado o no por otro” (Bembibre,2012).

nefelómetro o también llamado turbidímetro. Las unidades que se utilizan son, por lo habitual, las Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT)” (Severiche et al., 2013).

Según Cárdenas y Diaz (2018) la eficiencia de los coagulantes floculantes evaluados en los escenarios propuestos se determinó a través de la siguiente formula:

#### **Ecuación 1.**

*Porcentaje de remoción*

$$\% \text{ Remoción } X = \frac{D_i - D_f}{D_i} * 100$$

*D<sub>i</sub>*

Donde:

- X: parámetros a evaluar.
- D<sub>i</sub>: corresponde al Dato de inicial, para los parámetros a estudiar.
- D<sub>f</sub>: corresponde al Dato final posterior a la prueba de jarras, para los parámetros a estudiar.

Según Martínez et al. (2009) menciona la correlación de Pearson y correlación de Spearman es exactamente el mismo que el coeficiente de

correlación de Pearson. Pues, la interpretación de rho depende principalmente de los detalles de la investigación y la experiencia en el tema de estudio. Por ende, la experiencia previa sirve generalmente como base de comparación dadas las escalas de interpretación, que se ofrecen el coeficiente de correlación que oscila entre  $-1$  y  $+1$ , el valor  $0$  indicando que no existe asociación lineal entre las dos variables en estudio (Martínez et al., 2009).

**Figura 3**

*Interpretación del coeficiente “r” de Pearson.*

Coeficiente	Interpretación
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.80 < r < 1$	Muy alta
$0.60 < r < 0.80$	Alta
$0.40 < r < 0.60$	Moderada
$0.20 < r < 0.40$	Baja
$0 < r < 0.20$	Muy baja
$r = 0$	Nula

*Nota: En esta imagen se logra detallar el índice (coeficiente PEARSON) de fácil ejecución e interpretación oscilando valores entre 0 y 1 examinando la relación entre dos variables. Tomado por Martínez, 2009.*

En cuanto a la justificación de esta investigación, pues es de suma importancia, ya que, según Bartels (2021) menciona “la degradación de los recursos naturales por su sobreexplotación, la inestabilidad climática producto

del calentamiento global y el crecimiento demográfico, han puesto en peligro el suministro del líquido vital en grandes extensiones del planeta”(Bartels,2021). Pues, hoy en día muchos países sufren altas tasas de contaminación hídrica y dentro de ello aquellas comunidades no poseen con sistemas de potabilización y por ello no logran obtener agua de buena calidad. Sin embargo, según Pinilla (2017) desde muchos años atrás hallaron registro de diversos estudios que evalúan productos de origen vegetal como alternativa sostenible en los procesos de potabilización nombrados como coagulantes-floculantes naturales, lo cual no presenta problemas en la salud de las personas y que su residuo es aprovechable. Los productos naturales, presentan una solución a los altos costos que se pueden generar con la utilización de los productos químicos (Pinilla,2017). Por lo mencionado, esta investigación tiene la finalidad de evaluar el efecto floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada para la remoción de turbidez del agua. Por ello, se busca alternativas limpias a partir de emplear agentes floculantes de origen natural para la remoción eficiente de la turbidez. Pues, el desarrollo del experimento realizado en dicha investigación y la revisión de diferentes estudios ayudará al logro de este trabajo de investigación y lograr que sea más factible para futuras generaciones.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Tiene un efecto floculante la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada a tres concentraciones: (70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será la dosis óptima de la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada para la remoción de diferentes niveles de turbidez de una solución patrón de arcilla?
- ¿Existe una correlación positiva entre la dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) y la remoción de la turbidez en la solución patrón de arcilla?

## **1.3. Objetivo**

### **1.3.1. Objetivo general**

-Medir el efecto floculante a tres concentraciones de (*Opuntia ficus indica*) pulverizada (70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

-

Medir la dosis óptima de la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada para la remoción de diferentes niveles de turbidez de una solución patrón de arcilla.

-Establecer la correlación positiva entre la dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) y la remoción de la turbidez en la solución patrón de arcilla.

#### **1.4. Hipótesis**

##### **1.4.1. Hipótesis General**

-La (*Opuntia ficus indica*) pulverizada a tres concentraciones: (70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) presenta un efecto floculante para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla.

##### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La dosis óptima de (*Opuntia ficus indica*) pulverizada alcanza la máxima remoción de turbidez de una solución patrón de arcilla.

-Existe una correlación positiva entre la dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) y la remoción de la turbidez en la solución patrón de arcilla.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de investigación

El enfoque establecido para esta investigación es cuantitativo y de tipo aplicada, ya que, se obtuvieron datos numéricos de las muestras analizadas. Donde, se adquirirá más conocimientos sobre la aplicación de la práctica y se analizarán siendo cuantificados para verificar y comprobar las hipótesis que se está planteando en la presente investigación.

Por otro lado, la investigación es de diseño experimental, de alcance explicativo, puesto que se realizara mediciones antes de realizar los experimentos y posteriormente según el objetivo a seguir, lo cual, cuenta con un arreglo factorial de 6x3, (factor A) estuvo conformado por 6 niveles de turbiedad inicial y el otro (factor B) conformado por 3 dosis de floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada. Sin embargo, es explicativo, dado que se analizará y explicará el comportamiento de la variable dependiente (turbidez) en función de la variable independiente (dosis).

**Tabla 1**
*Diseño experimental al Azar*

TURBIDEZ (NTU)	DOSIS (mg/L)		
	D1= 70mg/L	D2=90mg/L	D3= 110 mg/L
T1	T1D1	T1D2	T1D3
T2	T2D1	T2D2	T2D3
T3	T3D1	T3D2	T3D3
T4	T4D1	T4D2	T4D3
T5	T5D1	T5D2	T5D3
T6	T6D1	T6D2	T6D3

Dónde:

T1: Turbidez 29.7NTU

T2: Turbidez 60.9NTU

T3: Turbidez 70.3NTU

T4: Turbidez 170NTU

T5: Turbidez 300NTU

T6: Turbidez 534NTU

D1: Dosis 70 mg/L

D2: Dosis 90 mg/L

D3: Dosis 110 mg/L

## **2.2 Población y muestra**

### **2.2.1. Población**

La población está conformada por 9 L de agua creadas con una solución patrón de arcilla elaborado en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte.

### **2.2.2. Muestra**

La muestra fue establecida por 18 muestras experimentales (500 mL de agua a diferentes niveles de turbidez cada una a base de disoluciones de una solución patrón de arcilla).

## **2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

Por otro lado, la técnica que se utilizará en la investigación se establece en procedimientos y actividades que se llevaron a cabo, con el propósito de obtener y analizar la información necesaria para el logro de los objetivos de la investigación, estableciendo sus instrumentos respectivamente.

Por consiguiente, se plasman las técnicas e instrumentos que se realizaron y emplearon para la recolección de datos:

### **2.3.1. Técnica del Test de Jarras**

Para hallar el efecto floculante para la remoción de turbidez en las muestras experimentales se aplicó la técnica prueba de Jarras. El cual, se usó el instrumento Test de jarras. Tomando en cuenta, diferentes dosis del

floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada y turbidez inicial, a una velocidad lenta constante de 20 RPM en 20 min, dado a ello, se obtuvo resultados cuantitativos en la remoción de turbidez.

### **2.3.2. Técnica de la determinación de la turbiedad**

Considerando la determinación de la turbidez de las disoluciones que se prepararon se utilizó el instrumento equipo Turbidímetro HACH 2100Q para realizar la medición respectiva se tomó en cuenta la guía del balotario.

En primer lugar, se encendió el turbidímetro aseverando que se encuentre calibrado para observar correctamente los resultados obtenidos. Posteriormente, con agua destilada se lava las celdas para evitar errores, procediendo a llenar la muestra de agua hasta la medida solicitada secando la celda para así evitar que quede manchas en la celda, ya que pueden absorber la luz o dispersarla resultando una medición errónea. Por último, se realiza el mismo procedimiento sucesivamente para las otras disoluciones registrando los datos de todas las muestras.

### **2.3.3. Técnica de Gabinete**

Para obtener el análisis de los datos adquiridos y los resultados se empleó el software tales como: Excel y Word, dado a ello, dio el alcance a desarrollar las unidades experimentales de cada muestra, los promedios requeridos de cada análisis, la correlación de Pearson y las gráficas para

el porcentaje de remoción de turbidez. Asimismo, para la interpretación de los resultados sobre el efecto floculante de la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada en las muestras realizadas se usó como instrumento la ficha técnica tal como, la hoja de revisión de las fuentes bibliográficas.

**Tabla 2**

*Materiales, herramientas, equipos e insumos en la experimentación de la investigación*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Insumos</b>	<b>Herramientas</b>
Vaso precipitado (500 ml)	Turbidímetro HACH 2100Q	Arcilla	Cuaderno de apunte
Pipeta (10ml)	Test de Jarras	<i>(Opuntia ficus indica)</i>	Lapiceros
Bagueta	Balanza digital	Agua destilada	Cámara
Bureta	Sensor de PH		Guantes / toca
Pisceta			Guardapolvo
Cucharilla			Lentes
Papel toalla			Tapa boca

*Nota: En esta tabla se logra detallar los materiales, equipos, insumos y herramientas que fueron utilizados durante el procedimiento del experimento realizado.*

## 2.4. Validez y conformidad de la información

Por consiguiente, para la validez y conformidad de la información según Sáinz y Gutiérrez(2008) “la selección del instrumento de medición o desarrollo de uno propio. Tiene que ser válido y fiable. La validez, es el grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir

mientras que la fiabilidad se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce iguales resultados” (Sáinz y Gutiérrez ,2008). Es por ello, para determinar la validez y confiabilidad de los instrumentos, se anexa las fichas de calibración de los instrumentos acreditadas por parte del laboratorio habilitado, también se utilizó la opinión y el visto bueno de expertos en el tema de la carrera profesional de ingeniería ambiental.

## 2.5. Procedimiento

Para el procedimiento a realizar y obtener la información recopilada, se obtuvo de la experimentación realizado en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte. A continuación, se plasmará el procedimiento ejecutado de la presente investigación:

### **2.5.1. Preparación de las muestras de agua a base de disoluciones de una solución patrón de arcilla.**

Teniendo en cuenta el estudio de López (2018) y Sifuentes (2019) considerando la elaboración de sus muestras de agua en una turbidez baja, media y alta a través de una solución patrón con arcilla. En la presente investigación, con el objetivo de evaluar el efecto del floculante

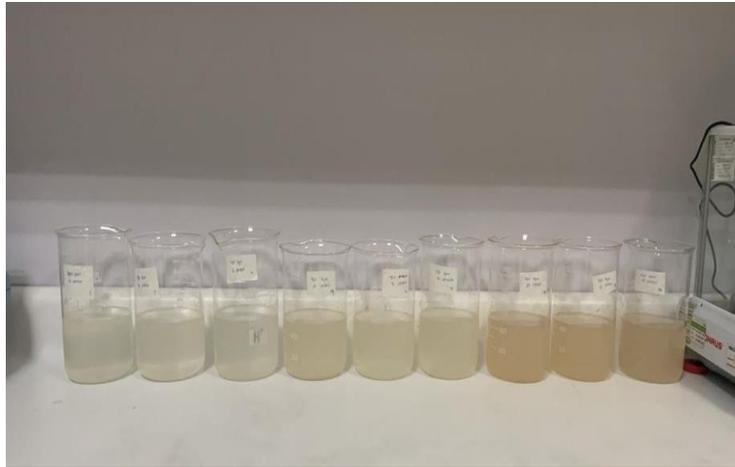
de la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada, se optó por preparar muestras de agua con 6 niveles de turbidez con 500 mL de muestra cada una, tales como:

29.7 NTU ,60.9 NTU ,70.3 NTU,170 NTU,300 NTU y 534 NTU.

En el cual, se pesó 50 gr de arcilla y fue mezclada con agua destilada en un recipiente de 1L, esta solución se dejó reposar por 24 horas. Con esta solución patrón, se llevó a cabo diluciones con agua destilada hasta alcanzar el nivel de turbiedad (29.7 ,60.9 ,70.3 ,170 ,300 y 534 NTU), para obtener las muestras de agua y experimentar con el instrumento Test de jarras.

**Figura 4**

*Muestras de agua con turbidez de 60.97NTU, 170 NTU y 534NTU*



*Nota: En esta imagen se logra observar las muestras de agua turbias iniciales que fueron utilizados durante el procedimiento del experimento realizado.*

**Figura 5**

*Muestras de agua con turbidez de 29.7NTU, 70.3 NTU y 300NTU*



*Nota: En esta imagen se logra observar las muestras de agua turbias iniciales que fueron utilizados durante el procedimiento del experimento realizado.*

### 2.5.2. Preparación del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada

Para la elaboración del floculante (*Opuntia ficus indica*) según el estudio de Álvarez y Ccahua (2021) se prepara un día antes de su uso. El cual, se preparó al 10 % (m/v), para ello se pesó 100 g de polvo de (*Opuntia ficus indica*) pulverizada y se disolvió en 1 L de agua destilada. Sin embargo, dado resultados efectivos en cuanto a la concentración del floculante natural en el estudio de López (2018) se usó el 0.5 % de la solución, es decir se mezcló 450 ml de agua destilada con 50 ml de (*Opuntia ficus indica*) pulverizada mezclando homogéneamente. Asimismo, se midieron los parámetros de turbidez (120NTU) y pH (6).

#### Figura 6

Concentración al 0.5 % de la (*Opuntia ficus indica*)



*Nota: En esta imagen se logra apreciar el floculante diluido a una concentración del 0.5% que se usó para la remoción de turbidez de las muestras de agua.*

### 2.5.3. Cálculo del volumen de la dosis de la (*Opuntia ficus indica*)

Para realizar el cálculo del volumen de la dosis para cada muestra, se tomó las siguientes dosis 70 mg/L ,90 mg/L y 110 mg/ L estas dosis se determinaron tomando en consideración el estudio de Villabona et al (2013), López. (2018), Álvarez y Ccahua (2021).

CONCENTRACION: 0.5 % = 5000 ppm = 500 mg/L

Dosis requerida 70 mg/L

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 = (70 \text{ mg/L}) (500\text{ml})$$

$$5000 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volumen de dosis} = 7\text{ml}$$

Dosis requerida 90 mg/L

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 = (90 \text{ mg/L}) (500\text{ml})$$

$$5000 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volumen de dosis} = 9\text{ml}$$

Dosis requerida 110 mg/L

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 = (110 \text{ mg/L}) (500\text{ml})$$

$$5000 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volumen de dosis} = 11\text{ml}$$

#### 2.5.4. Ensayo del Test de Jarras

Para la determinación de la dosis optima se realizó el desarrollo del proceso prueba de jarras, se usaron 6 equipos cada equipo con los niveles iniciales de turbidez. Pues, en cada equipose utilizaron 3 vasos precipitados llenos de 500ml de muestras en vasos de capacidad de 1000 ml, donde se le añade con el uso de una pipeta las dosis respectivas (70 mg/L ,90 mg/L y 110 mg/L) del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada , luego se procede en colocar por debajo las aspas del equipo y establecer el tiempo que se tomó en cuenta del estudio de Morejón (2017) el cual, aplico una agitación lenta de 20RPM en 20 min observando la floculación que se va creando hasta el tiempo establecido para dejar sedimentar por 60 min. Finalmente, se procederá a realizar las mediciones respectivas de la turbidez a cada una de las muestras experimentales.

### Figura 7

*Aplicando dosis de (*Opuntia ficus indica*) en las muestras de agua*



*Nota: En esta imagen se logra observar la aplicación del floculante a diferentes dosis en las muestras de agua turbias iniciales que fueron utilizados durante el procedimiento del experimento realizado.*

### Figura 8

*Equipo de test de jarras en funcionamiento*



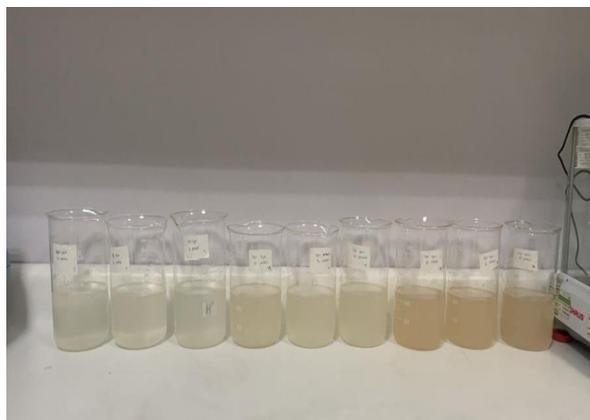
*Nota: En esta imagen se aprecia cada equipo de jarras en funcionamiento con las respectivas muestras de agua según su nivel de turbidez.*

### **2.5.5. Evaluación final del parámetro de Turbidez de las muestras tratadas**

Para observar la variación del mencionado parámetro y lograr compararlo luego de ser tratada con el floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada, se midieron las muestras antes y después del proceso prueba de jarras. De tal manera, este instrumento se encontraba calibrada y acreditado por parte de la Universidad privada del Norte, lo cual puede ser observada en la parte de anexos (Ficha de calibración). Para su respectiva medición, se usó el turbidímetro marca HACH modelo 2100Q, donde se introdujo la muestra final de agua en la celda y al ser introducida en el equipo brindarnos el valor correspondiente en la pantalla.

### Figura 9

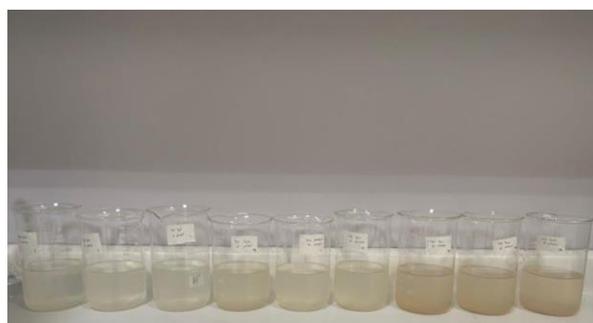
Muestras de turbidez iniciales



*Nota: En esta imagen se logra observar las muestras de agua turbias iniciales (60.9NTU, 170 NTU y 534NTU) antes de realizar el tratamiento con el floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizado.*

### Figura 10

Muestras tratadas con floculante (*Opuntia ficus indica*)



70 90 110 70 90 110 70 90 110 (mg/L)

*Nota: En esta imagen se logra observar las muestras de agua después de realizar el tratamiento con el floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizado, con una dosis de 70mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (26.8 NTU ,47.8NTU ,57.1NTU), con una dosis del 90 mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (23 NTU ,41.5NTU ,53NTU) y con una dosis de110mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (16NTU ,36.25NTU ,50.5NTU).*

### Figura 11

Muestras de turbidez iniciales



Nota: En esta imagen se logra observar las muestras de agua turbias iniciales (29.7NTU, 70.3 NTU y 300NTU) antes de realizar el tratamiento con el floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizado.

### Figura 12

Muestras tratadas con floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada



70	90	110	(mg/L)
----	----	-----	--------

Nota: En esta imagen se logra observar las muestras de agua después de realizar el tratamiento con el floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizado, con una dosis de 70mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (19.4 NTU ,33.4NTU ,70.9NTU), con una dosis del 90 mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (18.9NTU ,32.5NTU ,67.4NTU) y con una dosis de 110mg/L reduciendo el nivel de turbidez inicial (18.5NTU ,28.8NTU ,66.6NTU).

### 2.5.6. Cálculo del porcentaje de remoción de turbidez de las muestras analizadas

Por último, con los resultados alcanzados de laboratorio se logró obtener el porcentaje de remoción de turbidez de cada una de las muestras, el cual se utilizó la formulaplanteadada en la parte final del texto. Dado ello, se analizaron y compararon los resultados iniciales y finales plasmándolo en los softwares como Microsoft y Excel, los que facilitaron para la presentación de gráficos y tablas con los resultados promedios brindados para su respectiva interpretación.

Para así, lograr evaluar el efecto floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada para la remoción de la turbidez del agua.

#### Figura 13

*Formula del porcentaje de remoción de turbidez*

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

TN: Turbidez inicial

TD: Turbidez Final

*Nota: En esta imagen se observa la fórmula, con el cual se logró obtener el porcentaje de remoción de turbidez de cada muestra de agua analizada. Tomada por Cárdenas y Díaz (2018)*

## 2.6. Aspectos éticos

La presente investigación, respeta los compromisos éticos de acuerdo a las normas establecidas en el Manual de Redacción de la Universidad Privada del Norte. Asimismo, cabe recalcar que la principal fuente de manipulación en el experimento de esta investigación es el floculante natural a base del mucilago de (*Opuntia ficus indica*), que es considerado un biopolímero orgánico, que será útil para un bien social y ambiental, debido a ello, no afecta negativamente al medio ambiente. Por ende, la información surgió de una exhausta revisión de fuentes, tales como: artículos científicos, libros, tesis filtrando información real, con el propósito de obtener un integro registro de información y procesamiento de datos del experimento realizado en la presente investigación. Para, lograr la aceptación, ya que, será usada solo con fines académicos y sin alteración de los resultados constatados en dicho estudio.

## RESULTADOS

En este capítulo se presentará los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación, en el cual, se observarán a continuación teniendo en cuenta los objetivos planteados. Dado a ello, se llevó a cabo el análisis estadístico de cada una de las variables en el programa de Exel 2019. Además, se obtuvieron los datos de la media, mediana, desviación estándar y la varianza los cuales serán plasmados en las siguientes tablas:

**Tabla 3**

*Valores de los parámetros de turbidez y Ph del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada*

<i>(Opuntia ficus indica)</i> pulverizada	Turbidez NTU	PH
Concentración del 0.5 % (ml)		
500	120	6

En la tabla N°3 se muestran los resultados obtenidos del análisis del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada en una concentración del 0.5 %, donde presenta un pH ligeramente ácido de 6, dado a que “estos polímeros acumulan en sus vacuolas de sus células ácido orgánico” (Samame,2019), la turbidez fue de 120 NTU observándose un color verdoso pálido.

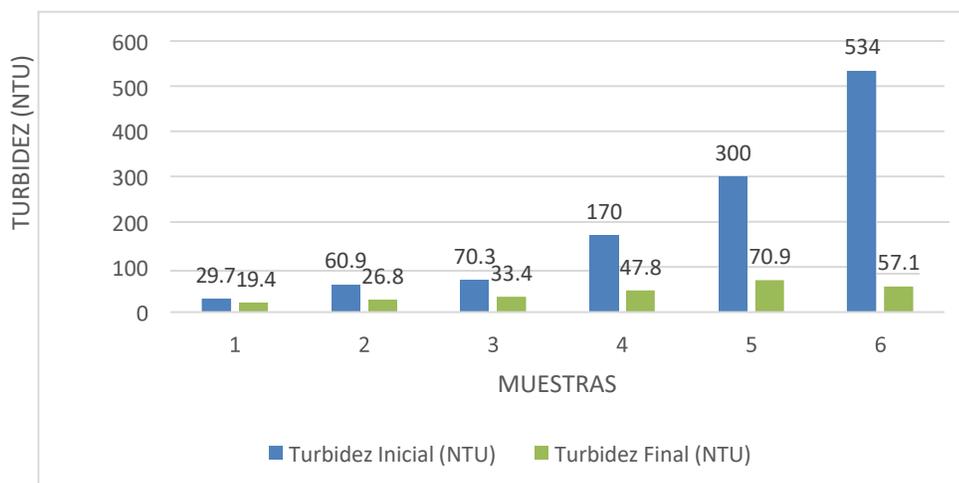
**Tabla 4**

*Resultados del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada en la remoción de la turbidez con dosis de 70 mg /L*

	<b>Turbidez Inicial (NTU)</b>	<b>Turbidez Final (NTU)</b>	<b>% Remoción</b>
<b>Dosis (70mg/L)</b>	29.7	19.4	34.6
<b>Dosis (70mg/L)</b>	60.9	26.8	55.9
<b>Dosis (70mg/L)</b>	70.3	33.4	52.4
<b>Dosis (70mg/L)</b>	170	47.8	71.8
<b>Dosis (70mg/L)</b>	300	70.9	76.3
<b>Dosis (70mg/L)</b>	534	57.1	89.3

**Figura 14**

*Comparación de la variación de la turbidez antes y después de añadir 70 mg /L de floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada*



En la figura 14 se observa la gráfica de las 6 muestras de agua con turbidez iniciales de (29.7 ,60.9 ,70.3 ,170 ,300 y 534 NTU), en función del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada mostrando notoriamente reducción de turbidez en la medida final de todas las muestras analizadas y un mayor porcentaje de remoción de turbidez en muestras de turbidez altas de 300 NTU a 70.9 NTU con un porcentaje de remoción del 76.3 %, asimismo de 534 NTU a 57.1 NTU con un porcentaje de remoción del 89.31%.

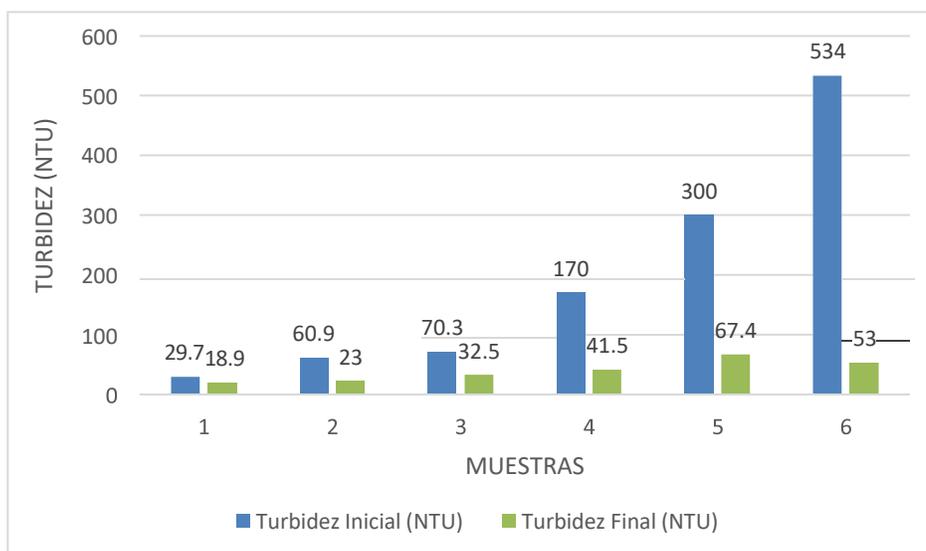
**Tabla 5**

*Resultados del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada en la remoción de la turbidez con dosis de 90 mg/L*

	<b>Turbidez Inicial</b> (NTU)	<b>Turbidez Final</b> (NTU)	<b>% Remoción</b>
<b>Dosis (90mg/L)</b>	29.7	18.9	36.3
<b>Dosis (90mg/L)</b>	60.9	23	62.2
<b>Dosis (90mg/L)</b>	70.3	32.5	53.7
<b>Dosis (90mg/L)</b>	170	41.5	75.5
<b>Dosis (90mg/L)</b>	300	67.4	77.5
<b>Dosis (90mg/L)</b>	534	53	90

**Figura 15**

Comparación de la variación de la turbidez antes y después de añadir 90mg/L del floculante (*Opuntia ficus indica*)



En la figura 15 se observa la gráfica de las 6 muestras de agua con turbidez iniciales de (29.7 ,60.9 ,70.3 ,170 ,300 y 534 NTU), con la aplicación del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada donde se refleja notoriamente reducción de turbidez en la medida final de todas las muestras analizadas y un mayor porcentaje de remoción de turbidez en muestras de turbidez altas de 300 NTU a 67.4 NTU con un porcentaje de remoción de turbidez del 77.5%, asimismo de 534 NTU a 53 NTU con un porcentaje de remoción de turbidez del 90%.

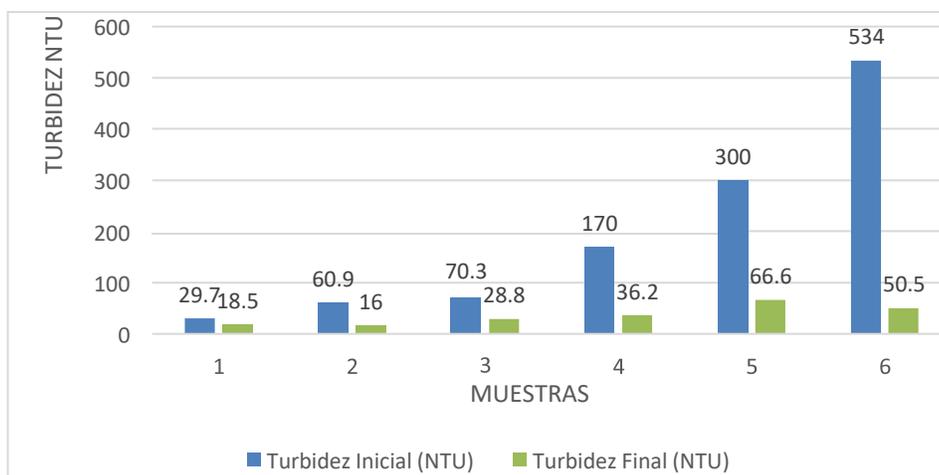
**Tabla 6**

*Resultados del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada en la remoción de la turbidez, condosis de 110 mg/L*

	<b>Turbidez Inicial (NTU)</b>	<b>Turbidez Final (NTU)</b>	<b>% Remoción</b>
<b>Dosis (110mg/L)</b>	29.7	18.5	37.7
<b>Dosis (110mg/L)</b>	60.9	16	73.7
<b>Dosis (110mg/L)</b>	70.3	28.8	59
<b>Dosis (110mg/L)</b>	170	36.2	78.7
<b>Dosis (110mg/L)</b>	300	66.6	77.8
<b>Dosis (110mg/L)</b>	534	50.5	90.5

**Figura 16**

*Comparación de la variación de la turbidez antes y después de añadir 110 mg/L del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada*



En la figura 16 se observa la gráfica de las 6 muestras de agua con turbidez iniciales de (29.7 ,60.9 ,70.3 ,170 ,300 y 534 NTU), con la aplicación del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada donde se refleja reducción de turbidez en la medida final de todas las muestras analizadas y un mayor porcentaje de remoción de turbidez en muestras de turbidez altas de 300 NTU a 66.6 NTU con un porcentaje de remoción de turbidez del 77.8, asimismo de 534 NTU a 50.5 NTU con un porcentaje de remoción de turbidez del 91%.

**Tabla 7**

*Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez inicial general*

	<b>MEDIA</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>VARIANZA</b>	<b>DESV. ESTANDAR</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNMO</b>
<b>TURBIDEZ INICIAL (NTU)</b>	194	120.15	37484.73	163.6	29.7	534

La Tabla N°7 nos visualiza los valores de análisis estadísticos de la concentración promedio de turbidez inicial brindados por el programa Exel 2019, donde el valor de turbidez inicial promedio es de 194 NTU. Posteriormente, se obtuvo una desviación estándar de 163.6 y una varianza de 37484.73, esto quiere decir que hay una mayor diferencia del grado de dispersión entre los datos de la turbidez inicial del experimento a realizar. Puesto que, se refleja entre un rango de la turbidez inicial máxima analizada de 534 NTU y el mínimo de un valor de 29.7 NTU.

**Tabla 8**

*Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez final y porcentaje de remoción con dosis de 70 mg/L del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada*

	<b>MEDIA</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>VARIANZA</b>	<b>DESV. ESTANDAR</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNMO</b>
TURBIDEZ FINAL (NTU)	42.56	40.6	382.13	19.54	70.9	19.4
PORCENTAJ E DE REMOCIÓN	63.38	63.85	382.89	19.56	89.3	34.6

La Tabla N°8 nos visualiza los valores de análisis estadísticos de la concentración promedio de turbidez final con una agregación de dosis de 70 mg/L, donde el valor de turbidez final promedio es de 42.56 NTU. Posteriormente, se obtuvo una desviación estándar de 19.54 y una varianza de 382.13, asimismo, también, se obtuvo una desviación estándar del porcentaje de remoción de 19.56 y una varianza de 382.89, el cual indica, que ambos datos (turbidez-final y porcentaje de remoción) no se encuentra estables en cuanto la turbidez inicial (194 NTU), ya que, sufre cambios dada la remoción de turbidez que ha logrado el floculante natural (*Opuntia ficus indica*) obteniendo una turbidez final (42.56 NTU). Sin embargo, la turbidez máxima obtenida es de 70.9 NTU y el mínimo indica un valor de 19.4 NTU.

Por otra parte, el promedio del porcentaje de remoción de turbidez final es de 63.38.%. Como tal, el porcentaje de remoción máxima obtenida es de 89.3% y el mínimo indica un valor de 34.6%.

**Tabla 9**

*Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez inicial y porcentaje de remoción con dosis de 90 mg/L del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada*

	<b>MEDIA</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>VARIANZA</b>	<b>DESV. ESTANDAR</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
TURBIDEZ FINAL (NTU)	39.38	37	342.03	18.49	67.4	18.9
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	65.86	68.85	369.24	19.21	90	36.3

La Tabla N°9 nos visualiza los valores de análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez final con una agregación de dosis de 90 mg/L, donde el valor de turbidez final promedio es de 39.98 NTU. Posteriormente, se obtuvo una desviación estándar de 18.49 y una varianza de 342.03, asimismo, también, se obtuvo una desviación estándar del porcentaje de remoción de 19.21 y una varianza de 369.24, el cual indica, que ambos datos (turbidez-final y porcentaje de remoción) no se encuentran estables en cuanto a la turbidez inicial (194 NTU), ya que, sufre cambios dada la remoción de turbidez que ha logrado el floculante natural (*Opuntia ficus*

*indica*) obteniendo una turbidez final (39.38 NTU) .Sin embargo, la turbidez máxima obtenida es de 67.4 NTU y el mínimo indica un valor de 18.9 NTU.

Por otra parte, el promedio del porcentaje de remoción de turbidez final es de 65.86%. Como tal, el porcentaje de remoción máxima obtenida es de 90% y el mínimo indica un valor de 36.3%.

**Tabla 10**

*Análisis estadísticos promedio de la concentración de turbidez final y porcentaje de remoción con dosis de 110mg/L del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada*

	<b>MEDIA</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>VARIANZA</b>	<b>DESV. ESTANDAR</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNMO</b>
TURBIDEZ FINAL (NTU)	36.1	32.5	380.93	19.51	66.6	16
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	69.56	75.75	346.72	18.62	90.5	37.7

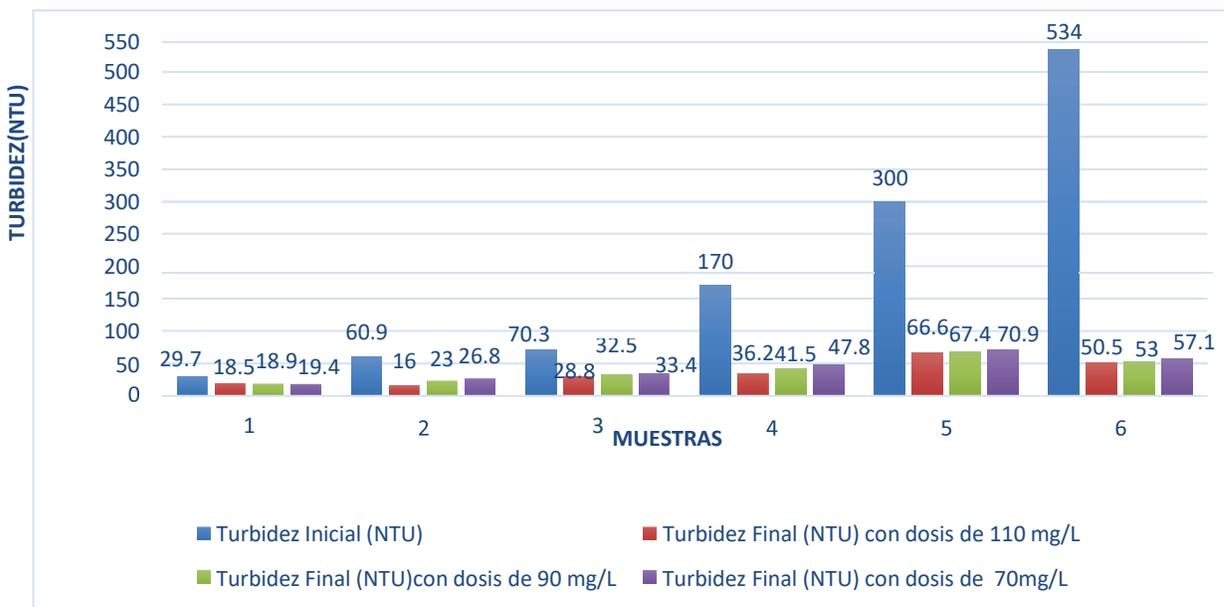
La Tabla N°10 nos visualiza los valores de análisis estadísticos brindados por el programa Exel 2019 de la concentración promedio de turbidez final con una agregación de dosis (110 mg/L), donde el valor de turbidez final promedio es de 36.1 NTU. Posteriormente, se obtuvo una desviación estándar de 19.51 y una varianza de 380.93, asimismo , también, se obtuvo una desviación estándar del porcentaje de remoción de 18.62 y una varianza de 346.72 ,el cual indica, que ambos datos (turbidez-final y

porcentaje de remoción) no se encuentra estable en cuanto a la turbidez inicial (194 NTU), ya que , sufre cambios dada la remoción de turbidez que se ha logrado con el floculante natural (*Opuntia ficus indica*) obteniendo una turbidez final (36.1 NTU) .Sin embargo, la turbidez máxima obtenida es de 66.6 NTU y el mínimo indica un valor de 90.5 NTU.

Por otra parte, el promedio del porcentaje de remoción de turbidez final es de 69.56.%. Como tal, el porcentaje de remoción máxima obtenida es de 90.5 % y el mínimo indica un valor de 37.7%.

**Figura 17**

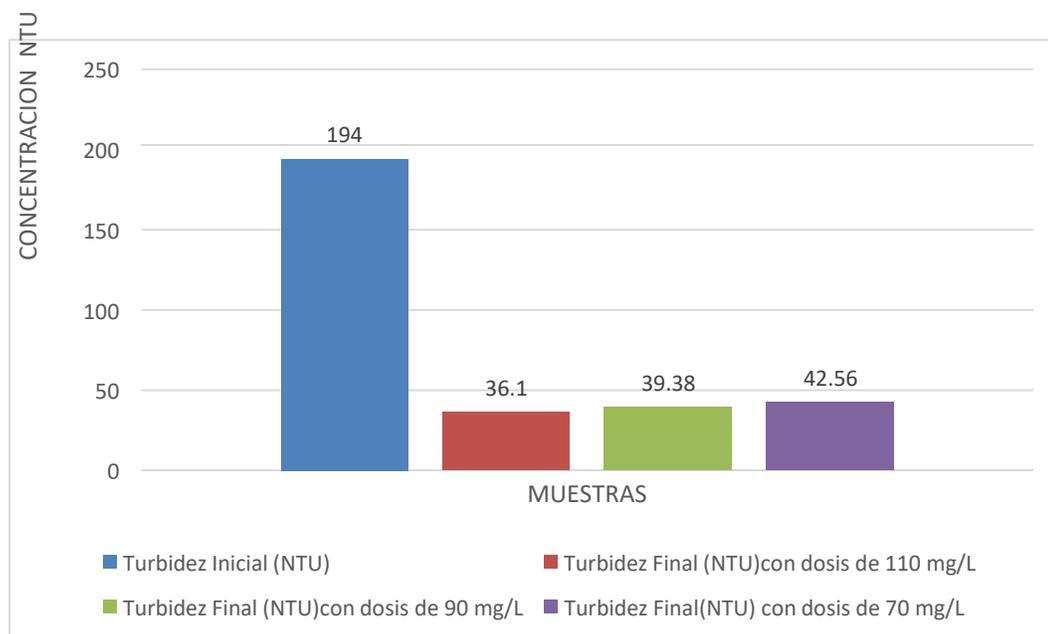
Comparación entre la concentración de turbidez según las dosis (70mg/L) (90mg/L)(110mg/L) del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada



Por otro lado, en la figura 17 se logra observar gráficamente la disminución de la concentración de turbidez en las muestras realizadas según la turbidez iniciales, en función del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada, en el que se observó una mayor remoción de turbidez con una dosis de 110 mg/L a diferencia de las dosis de 90 mg/L y 70 mg/L.

### Figura 18

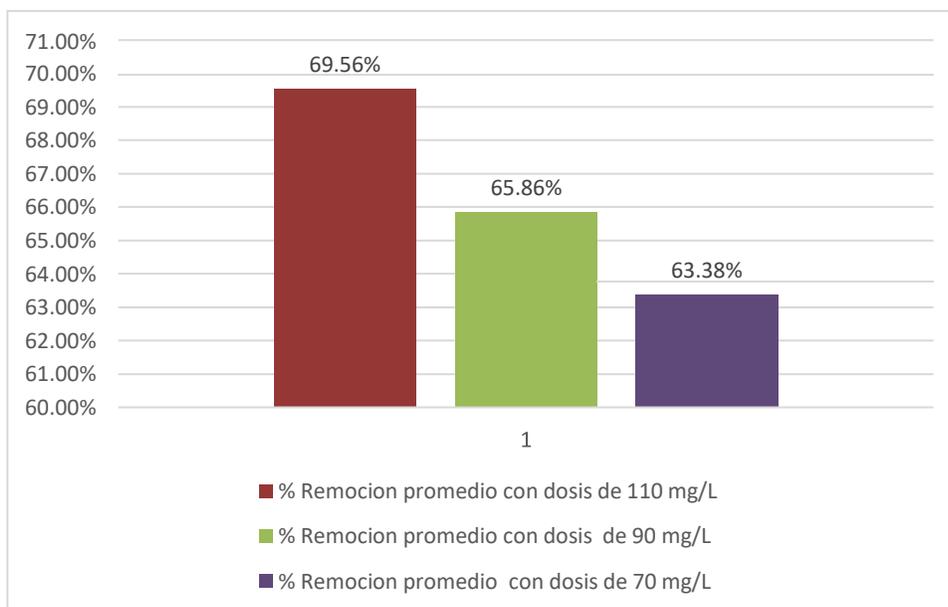
Comparación entre las concentraciones promedio de la turbidez inicial y final según las dosis (70mg/L)(90mg/L) (110mg/L) del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada



Por otro lado, en la figura 18 se logra observar gráficamente la remoción de turbidez con las tres dosis respectivas hacia la concentración de la turbidez inicial promedio de 194 NTU. Sin embargo, se refleja que hay mayor remoción de turbidez final promedio de 36.1 NTU con una dosis aplicada de 110 mg/L del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada.

**Figura 19**

Comparación entre los porcentajes de remoción promedio de turbidez según las dosis (70mg/L) (90mg/L)(110mg/L) del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada



En la figura 19 se puede apreciar la comparación de los porcentajes promedio de remoción de turbidez según las dosis respectivas(110mg/L) (90mg/L) (70mg/L). El cual, se observa un porcentaje de remoción mayor promedio del 69.56% con una dosis aplicada de (110mg/L) del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada.

**Tabla 11**

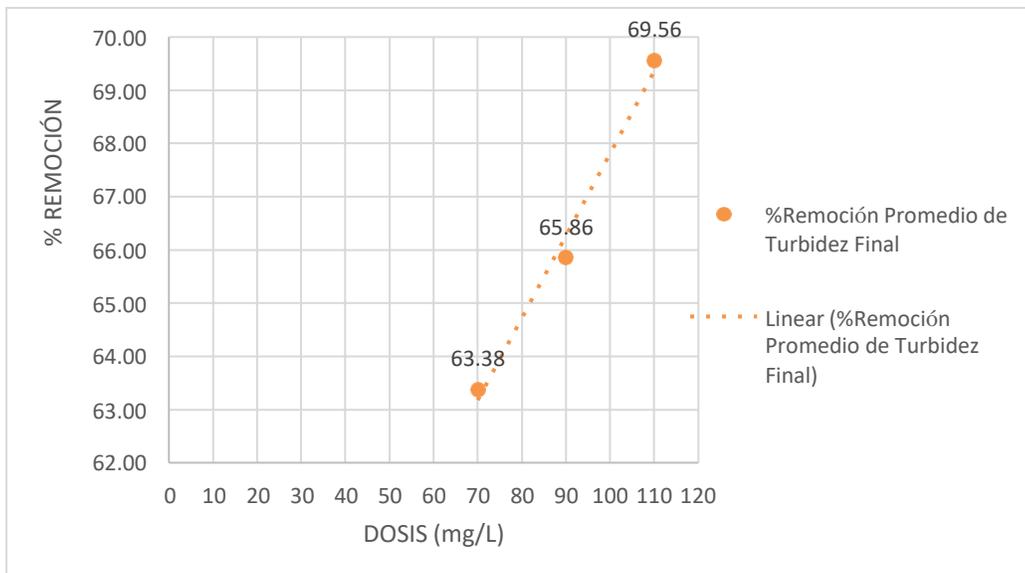
*Correlación entre variables del porcentaje de remoción y dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada*

	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>%Remoción Promedio de Turbidez Final</b>
Dosis (mg/L)	1	
%Remoción Promedio de Turbidez Final	0.99356742	1

En la Tabla 11 nos indica que existe una correlación muy alta entre la variable dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada y el porcentaje de remoción promedio de la turbidez final. De igual manera, considerando el coeficiente de correlación ( $r = 0.993$ ), se advierte una correlación muy fuerte entre la dosis del floculante y el porcentaje de remoción promedio de turbidez final. Sin embargo, esto indica que al aumentar la variable de la dosis aumentará el porcentaje de remoción de turbidez durante un tiempo de análisis.

**Figura 20**

Correlación entre variables del porcentaje de remoción promedio y dosis de 70 mg/L ,90mg/L y110mg/L del floculante (***Opuntia ficus indica***) pulverizada.



Como se observa en la figura 20, se presenta el efecto positivo entre las tres dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada con respecto al porcentaje de remoción de turbidez, utilizándose como floculante natural, el cual logro obtener un porcentaje promedio de remoción de turbidez mayor del 69.56%, aplicándose una dosis de 110 mg/L del floculante al transcurrir a una velocidad de agitación de 20RPM en un tiempo determinado de 20 minutos, con un tiempo de sedimentación de 60 min.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. DISCUSIÓN

Con respecto a la pregunta de investigación del presente estudio, ¿Tiene un efecto floculante la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada (a tres concentraciones: 70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla? Al analizar los resultados obtenidos en la presente investigación sobre el efecto floculante que tiene la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada en muestras de agua de una solución patrón de arcilla a diferentes niveles de turbidez analizadas en test de jarras, se comparan los datos con la hipótesis planteada siendo comprobada, ya que, la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada presenta un efecto floculante para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla, aplicando las 3 dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada 70 mg/L que puede ser observada en la (Tabla N° 8) 90 mg/L que también puede ser vista en la (Tabla N° 9) y 110 mg/L que puede ser notada en la (Tabla N° 10) obtuvieron resultados de porcentajes de remoción de turbidez promedio del 63.38 %, 65.86 % y 69.56 % respectivamente sobre diferentes niveles de turbidez de una solución patrón de arcilla. Asimismo, la correlación de Pearson donde puede ser observada en la (Tabla N°11) nos brinda un

coeficiente de correlación del ( $r = 0.993$ ), demostrando una correlación muy fuerte entre la dosis del floculante y el porcentaje de remoción ~~prom~~ de turbidez final. Lo cual, se deduce que al incrementar la variable de la dosis aumentará el porcentaje de remoción de turbidez durante un tiempo de análisis esto puede ser observada en la (Figura N°20).

Pues, según Cárdenas y Diaz (2018) la eficiencia del coagulante-floculante evaluados en su estudio de investigación, lo determinó a través de la fórmula de porcentaje de remoción. Por ello, para obtener estos datos se utilizó dicha formula. Sin embargo, a diferencia de las otras dos dosis analizadas de 70 mg/L y 90 mg/L donde se logra apreciar en la (Figura N°17), se observó notoriamente que aplicando una dosis optima de 110 mg/L del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada, hubo reducción de turbidez y un mayor porcentaje promediode turbidez en las muestras del presente estudio. Sin embargo, cabe resaltar que, en la muestra de turbidez alta, cual se puede observar en la (Figura N° 16) donde la turbidez alta de 534 NTU obtuvo una reducción de turbidez del 50.5 NTU con un porcentaje de remoción de turbidez del 91 %, asimismo 300 NTU a una reducción de turbidez del 66.6 NTU con un porcentaje de remoción de turbidez del 77.8%.

Pues, a comparación con el estudio de (Villabona et al. ,2013) en su investigación, presento resultados semejantes donde obtuvo un porcentaje de

remoción del 72 % evidenciando el potencial que tenía para remover la turbidez inicial de 171 NTU logrando un porcentaje de remoción del 72 % con una dosis aplicada de 90 mg/L, por lo cual, menciona que la remoción de turbidez tiende a aumentar a medida que se incrementa la dosis de coagulante-floculante para las muestras estudiadas (Villabona et al.,2013).

De la misma manera, con respecto a los resultados del presente estudio según (López,2018) en su investigación observaron una mayor reducción de turbidez en muestras de turbidez altas, el autor trabajó con concentraciones iniciales de turbidez diferentes, siendo la turbidez altainicial de (500NTU) con una dosis optima de (90 mg/L) de (*Opuntia ficus indica*) que produjo los mejores resultados en cuanto el porcentaje de remoción .Pues ,obtuvieron un porcentaje deremoción dentro de un rango del 58 % al 86% de eficiencia de remoción de turbidez .Analizandoser efectivo para ser aplicado en muestras de turbiedad bajas, medias y altas, dado, que existe remoción de partículas en el proceso de coagulación-floculación, ya que, al aplicarlo observaronque disminuye debido a sus propiedades que obtiene este vegetal (López,2018) .

Asimismo, analizando el estudio de Álvarez y Ccahua (2021) obtuvo resultados similares,por lo que obtuvo una remoción de turbidez del 83.8 %, en cuanto la turbidez inicial de (500 NTU) con una dosis de (90 mg/L)

de (*Opuntia ficus indica*). Con una velocidad de agitación lenta (30 RPM) con un tiempo de agitación lenta (20 minutos). Pues, menciona que la dosis influye de manera significativa, ya que, cuando la dosis es alta la turbidez disminuye con respecto a 90 mg/L logrando mayor remoción de partículas (Álvarez & Ccahua, 2021).

Del mismo modo para Gaspar (2021) en sus resultados analizados sobre efectos primordiales en el porcentaje de reducción de turbidez utilizando la (*Opuntia ficus indica*), presentaron porcentajes mayores de remoción, obteniendo un valor alcanzado 98,53 % reduciendo una turbidez inicial de 300 NTU con una dosis óptima de 300 mg/L del coagulante-floculante, lo cual reflejaron que al aumentar la dosis de 100 mg/L a 300 mg/L el valor final de la turbidez disminuye (Gaspar, 2021). Esto es debido, a una “alta concentración de partículas coloidales, presentes es de gran tamaño, por tanto, la distancia entre ellos es pequeña, siendo mayor la fuerza de atracción requerida para su desestabilización” (Pérez et al., 1977).

En cuanto, el efecto que puede provocar la (*Opuntia ficus indica*) según algunos investigadores tales como: Jaco et al. (2022) menciona que la “dosis optima del -floculante hace posible la desestabilización de partículas coloidales logrando aglomerarse de una manera más rápida formando flóculos para luego sedimentar” (Jaco et al.,2022). Esto puede aseverarse según el estudio de Morejón ,2017 ,lo cual ,menciona que este vegetal es un polímero compuesto de polisacáridos emparentados con las pectinas, lo cual, obtienen propiedades de generar su propio gel y por ende actuar como coagulante-floculante ( Morejón ,2017) .Igual modo, Trachtenberg y Mayer (2018) dado los estudios histoquímicos mencionan que el aporte de este vegetal muestra grandes cantidades de polisacáridos ácidos que obtienen este vegetal y los azúcares que se encuentran distribuidas predominando la Arabinosa (Trachtenberg y Mayer ,2018) ,esto puede ser observada en la (Figura N°1 y 2).De tal manera, Loza, et al ,2021,menciona que los azúcares que atribuyen el mucílago como la arabinosa, xilosa, galactosa y ramnosa, al ser estas sustancias polisacáridos permiten aglutinar los sólidos suspendidos y sustancias presentes en el agua, lo cual, actuaría como un floculante natural (Loza, et al ,2021).

Por otro lado, en el presente trabajo de investigación manifestó algunas limitaciones, ya que, desde la perspectiva de Ávila (2001) “una limitación consiste en que se deja de estudiar un aspecto del problema debido por alguna razón” (Ávila,2001). Con esto se quiere decir, que los estudios disponibles en la actualidad, siguen siendo demasiado escasos como para permitir una conclusión al 100 %, debido a que, se encuentran temas de importancia, pero con datos incompletos, probablemente es un aspecto que puede limitar el alcance del análisis.

Sin embargo, en cuanto las implicancias es necesario obtener evidencia científica realizando una experimentación más compleja sobre el efecto floculante de la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada para la remoción de turbidez, sería necesario adoptar como alternativa agentes floculantes de fuentes naturales siendo aceptables para reemplazarlos en el tratamiento de aguas, ya que, otros tipos de floculantes artificiales ocasionan implicaciones en la salud y al medio ambiente. De tal manera , la atribución que se puede obtener del presente trabajo de investigación después de corroborar los antecedentes , información recopilada y el análisis realizado ,presenta que el vegetal (*Opuntia ficus indica*) si remueve arcilla ,que es uno de los principales componente de la turbiedad de los rio a nivel nacional .Por ende ,al usar estos coagulantes-floculantes naturales son una alternativa

prometedora reducen su grado de toxicidad siendo bajo, altamente biodegradables, no corrosivos ,amigables con el medio ambiente y además resultaría ser económico siendo favorables para aquellos lugares que no cuentan con un servicio de agua de calidad.

## CONCLUSIONES

-El empleo del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada en el tratamiento, presenta una significancia según los resultados obtenidos. Dado, el comportamiento que obtiene con una dosis de 70 mg/L, que logró una remoción del 63.387%, asimismo, con una dosis de 90 mg/L obtuvo una remoción de 65.86% y una dosis de 110 mg/L con una remoción del 69.56 %. Lo cual, la (*Opuntia ficus indica*) pulverizada tiene un efecto floculante sobre la remoción de turbidez en una solución patrón de arcilla.

-Se concluye, en vista de los resultados que la dosis óptima del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada es de 110 mg/L, alcanzando la máxima remoción del 69.56 % de una turbidez inicial promedio de 194 NTU logrando obtener una turbidez final del 36.1 NTU.

-Existe una correlación positiva muy alta considerando el coeficiente de correlación ( $r = 0.993$ ) entre las variables dosis del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada y la remoción de la turbidez en una solución patrón de arcilla. Comprobando así mediante el experimento, las estadísticas que tuvo una influencia, ya que, a mayor dosis agregada, acrecentaba la remoción de turbidez.

## RECOMENDACIONES

-Se sugiere para las futuras investigaciones evaluar complejamente el comportamiento del floculante (*Opuntia ficus indica*) pulverizada realizando un análisis de otros parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para observar si influye en estos parámetros.

-Asimismo, debería evaluar el potencial que puede lograr esta especie vegetal, para que pueda ser utilizado en zonas o comunidades alejadas con problemas de escasez de una buena calidad de agua.

-También es importante de promover investigaciones con tecnologías amigables con el ambiente utilizando floculantes naturales para remplazar aquellos coagulantes -floculantes químicos en el tratamiento y mejoramiento de aguas.

## REFERENCIAS

- Acevedo, J. & Huamán, H. (2021). *“Eficiencia del coagulante del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica – 2019”*. (Tesis profesional). Universidad de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Aldana, E. (2012). *“Uso del extracto de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano”*. (Tesis-Ingeniero). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Álvarez, N. & Ccahua, S. (2021). *Remoción de turbidez usando biocoagulantes “*Echinopsis peruviana* y *Opuntia ficus indica*” en muestras con suelo del río Tucuirí, Santo Tomás*. (Tesis profesional). Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.
- Andino, A. & Dolores, E. (2011). *Validación y determinación de incertidumbre de la demanda bioquímica de oxígeno, hierro y turbidez en aguas: aguas residuales, industriales y domésticas*. (Tesis Bachiller). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Ardila Romero, S. (2020). *Revisión bibliográfica sistemática de tratamientos de agua potable de bajo costo, para comunidades pequeñas y descentralizadas*. (Tesis de grado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

- Atupaña, F. & Guacho, J. (2019). Determinación de la eficiencia del opuntia ficus-indica como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río Bulubulu. (Tesis profesional). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Ávila, R. (2001). *Guía para elaborar la tesis: metodología de la investigación; cómo elaborar la tesis y/o investigación, ejemplos de diseños de tesis y/o investigación*. Lima: ediciones R.A.
- Bartels, J. (2021). Crecimiento demográfico y degradación de los recursos: El caso del agua en las comunidades Ojo de Agua y Crun Shurin, de los territorios indígenas Boruca y Térrabadel Pacífico de Costa Rica (2000-2019). *Revista de historia*, (83), 165-187.doi: <https://doi.org/10.15359/rh.83.7>
- Bembibre,C.(Febrero,2012). Remoción. [Publicación de blog] Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/remocion.php>
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, solidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. (Tesis profesional) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Cárdenas, D. & Diaz, J. (2018). *Opuntia ficus indica como coagulante natural alternativo para la clarificación del agua cruda*. Artículo de Discusión. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.clarificación de

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

Contreras, K.,Mendoza, J. ,Salcedo G. ,Olivero R., Mendoza, G.(2015). El Nopal (*Opuntia ficus- indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia* ,10(1),40-50.

Custodio, M. y Chávez, E. (2017). Evaluación del estado trófico del río Cunas mediante índices físicos, químicos y biológicos, en dos periodos climáticos-Junín, Perú. *Ambiente*,1(2)36-36.

Chaukura,N.,Marais,S.,Moyo,W.,Mbali,N.Takalekoala,L.,Ingwani,T,Manb a,M.,Jarvis,P. & Nkambule,T.( 2020). “A New Generation Low-Cost Biochar-Clay Composite ‘Biscuit Ceramic Filter for Point-of-Use Water Treatment.” *Applied Clay Science* 185,sp <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105409>

Chasquibol Silva, N., Arroyo Benites, E. & Morales Gomeró, J.C.(2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial* [en línea], vol. 26, pp. 175–199. [Consulta: 14 February 2022]. ISSN 1025-9929. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428492010>.

Choque, D., Choque, Q., Solano, A. & Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química* ,38 (2), 298-309.

Domínguez, J. (2010). El acceso al agua y saneamiento: Un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz D.F. *México. Gestión y Política Pública*, 19, (2).

Fernández, F. (2019). El agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva* (3), 1-2. Recuperado de <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/ambiente/article/view/93>

Gaspar, F. (2021). *Reducción de la Turbidez de las Aguas del Río Shullcas, Utilizando Penca de Tuna y Sulfato de Aluminio en el Proceso de Coagulación para el Tratamiento de Agua Potable*. (Tesis profesional). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

González, Y., López, A., Potella, G. (2020). Eficiencia de *opuntia ficus indica* (cruda y desecada) como coagulante para la clarificación de aguas. *Revista de Ingeniería Invención* 2 (2), 11– 22.

Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C., García, R. (2013) Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Rev. udca actual. divulg. Cient*, 16 (1), 253- 262

Huerta, K. (28 de marzo 2022). Importancia de los floculantes en procesos industriales. *Contyquim*. Recuperado de <https://contyquim.com/blog/importancia-de-los-floculantes-en-procesos-industriales>

Jaco, E., Gómez, W., Loroña, F., Zamora, N. & Huamán, N. (2022).

*Eficiencia de la Opuntia ficus indica como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales grises y su aplicación en un sistema piloto. Ingeniería del agua* 26(3), 157-17.  
<https://doi.org/10.4995/Ia.2022.17478>

López, M. (2018). “*Evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*”. (Tesis profesional). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

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*” . (Tesis profesional). Universidad privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú.

Loza Cornejo, S., Terrazas, T. & López Mata, L. (2012). FRUITS, SEEDS AND GERMINATION IN FIVE SPECIES OF GLOBOSE CACTEAE (CACTACEAE). *Interciencia* [en línea], vol. 37, no. 3, pp. 197–203. [Consulta: 13 February 2022]. ISSN 0378-1844. Disponible en: <https://www.interciencia.net/wpcontent/uploads/2018/01/197-c-TERRAZAS-7.pdf>.

Lugo, J., Burgos, J. Lugo, E., Gould, A. & Osvallos, D. (2020). “Evaluation of Low-Cost Alternatives for Water Purification in the Stilt House Villages of Santa Marta’s Ciénaga Grande.” *Heliyon* 6(1), sp.

Mamani, E.(2019). “*Capacidad del coagulante natural de la tuna (opuntia ficus indica) para la clarificación del agua del punto de captación de la empresa prestadora de servicio seda Juliaca s.a. 2017*”. (Tesis profesional). Universidad andina “Néstor Cáceres Velásquez”, Juliaca, Perú.

Martínez,R, Tuya,L., Martínez , M., Pérez ,A., Cánovas, A.(2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8, (2)

Martínez, J. & Gonzáles, E. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas*. (Tesis profesional). Universidad de Cartagena, Bolívar, Colombia.

Marcovecchio,J.&Freije,R.(2013).Procesos químicos en Estuarios. Universidad Tecnológica Nacional, México.

Ministerio de Salud. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Obtenido de [http:// www.digesa.minsa.gob.pe](http://www.digesa.minsa.gob.pe)

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*”. (Título de Magíster). Universidad técnica del Norte, Carchi, Ecuador.

“Efecto floculante de la (*Opuntia ficus-indica*) pulverizada para la remoción de la turbidez del agua”

zOrellana, J. (2005). Tratamiento de las aguas (Eds.). Libro de Ingeniería Sanitaria A4 Capitulo 6(pp.3).

Ortiz, Á. V., Astudillo, I. C. P., & García, J. M. (2013). *Caracterización de la Opuntia ficus- indica para su uso como coagulante natural. 1, 9.*

Nieto, N. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *Política y cultura,36,157-176.*

Olivero, R., Mercado, I. & Montes, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica. Producción + Limpia* ,8(1) 19-27.

Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I. Casas, D. & Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería II (1)*

Organización Naciones Unidas. (2014). Calidad del agua. Obtenida de

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Organización Mundial de Salud.(2019).Obtenido de

[https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=Cj0KCQjw5auGBhDEARIsAFyNm9F0B1dSDc\\_ajj3y\\_D0dzGCpsUUh45\\_FehV-B78iywb\\_vCrn4jhQxvMgaApFDEALw\\_wcB](https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=Cj0KCQjw5auGBhDEARIsAFyNm9F0B1dSDc_ajj3y_D0dzGCpsUUh45_FehV-B78iywb_vCrn4jhQxvMgaApFDEALw_wcB)

Paterniani,J., Mantovani,M. & Sant’Anna,M.(2009) “The Use of Moringa

“Efecto floculante de la (*opuntia ficus-indica*) pulverizada para la remoción de la turbidez del agua”

Oleifera Seeds for Treatment of Surface Water.”. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental* 13(6),765–71.

Pérez, J. 1977. *Estado del arte – Coagulación*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). PE.

Pérez, J. & Gardey, A. (2016). Definición de contaminación del agua. [Publicación de blog] Obtenido de [\(https://definicion.de/contaminacion-del-agua/](https://definicion.de/contaminacion-del-agua/)

Puma, Y. (2020). *Evaluación del proceso de coagulación y floculación con mucilago de opuntia ficus indica como adyuvante del fecl3 en efluentes de servicios de comida*. (Tesis profesional). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Pinilla, J. (2017). *Evaluación de la eficiencia como coagulante de la semilla de soja molida, sojadeslipidificada y la torta de soja, frente al sulfato de aluminio en procesos de clarificación de aguas*. (Tesis profesional). Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia.

Ramírez, H., & Jaramillo, J.(2014). *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos*. *Ingeniería Solidaria*,17, 139-151.doi: 10.16925/in. v9i17.813

Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Buenos Aires, Argentina: Autor.

Sáinz, A., Gutiérrez, S. (2008). *Metodología científica en la economía de la*

- “Efecto floculante de la (*opuntia ficus-indica*) pulverizada para la remoción de la turbidez del agua”  
empresa: el diseño del proceso de investigación. Revista *ciencias estratégicas*, 16(19), 119-136.
- Salvagiotti ,F.; Castellarín ,J., FerragutI ,F. & Pedrol,H.(2011). DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN MAÍZ SEGÚN POTENCIAL DE PRODUCCIÓN Y DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN LA REGIÓN PAMPEANA NORTE. *Ci. suelo (argentina)*, 29(2),199-2129
- Samame,Y. (2019). *Dosis óptima del mucílago de Opuntia ficus-indica para mejorar la calidad del agua del río la Leche, Lambayeque*. (Tesis de Bachiller). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo ,Perú.
- Severiche, C., Castillo, M & Acevedo, R. (2013). "*Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en agua*". Universidad Andaluza Inca Garcilaso, Colombia, Cartagena de indias.
- Silva, M. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. (Tesis profesional). Universidad Nacional de San Marcos, Lima, Perú.
- Sifuentes,J. (2019). ‘*Evaluación del coagulante natural obtenido de la semilla de maracuyá (passiflora edulis) en la remoción de la turbidez de una solución modelo*’. (Tesis de Título).Universidad Privada del Norte,Lima,Perú.

Soares, D. & Costa, E. (2017). “Experimental Evaluation of Helically Coiled Tube Flocculators for Turbidity Removal in Drinking Water Treatment Units.” *Water SA* 43(3),378–86.

Terán, J . (2022). “*Evaluación de la eficiencia del nopal (Opuntia ficus-indica) para la disminución de la turbidez del río Carrizal en época lluviosa*”. (Tesis profesional). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López, Ecuador, Ecuador.

Torres, R., Morales, D., & Ballinas, M. (2015). El nopal: Planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal\* Nopal: Semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition. *2015*, 6, 1129-1142.

Trachtenberg, S. & Mayer, A.M., (1981). Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry* [en línea], vol. 20, no. 12, pp. 2665–2668. [Consulta: 13 February 2022]. ISSN 0031-9422. DOI 10.1016/0031-9422(81)85263- 6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0031942281852636?via%3Dihub>.

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). *Turbidity removal in a water sample from a natural source via coagulation/flocculation using plantain starch*. 18

- Vaca, M., López, R., Flores, J., Terres, A., Lizardi, M. & Rojas, N. (2014).  
Aplicación del nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario  
de aguas residuales. *Rev. AIDIS de Ingeniería y Ciencias  
Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. 7, (3) 210 – 216.
- Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de  
filtración rápido Lima, Perú: El CEPIS/OPS es una agencia especializada  
de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS)
- Vásconez, B. (2013). *Reducción del nivel de sólidos suspendidos del agua  
de retro lavado en la etapa de filtración*. (Tesis de grado).  
Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Villabona, A., Paz, I. & Martínez J. (2013). *Caracterización de la Opuntia  
ficus-indica para su uso como coagulante natural*. *Rev. Colomb.  
Biotecnol.* 15 (1) ,137-144
- Villanueva, J. (2019). *Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna  
(Opuntia ficus-indica (L.) miller) y de San Pedro (Echinopsis pachanoi  
(Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación del agua*.  
(Tesis profesional). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca,  
Perú.

**ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA PARA ELABORACIÓN DE  
PROYECTO DE INVESTIGACION**

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Melissa Susana Melgarejo Salazar

FACULTAD/ESCUELA: INGENIERÍA /INGENIERÍA AMBIENTAL

TITULO: EFECTO DE LA ( <i>OPUNTIA FICUS-INDICA</i> ) PULVERIZADA PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DE UNA SOLUCIÓN PATRÓN DE ARCILLA					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Tiene un efecto floculante la (<i>Opuntia ficus indica</i>) pulverizada (a tres concentraciones: 70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cuál será la dosis óptima de la (<i>Opuntia ficus indica</i>) pulverizada para la remoción de diferentes niveles de turbidez de una solución patrón de arcilla?</p> <p>- ¿Existe una correlación positiva entre la dosis del floculante (<i>Opuntia ficus indica</i>) y la remoción de la turbidez en la solución patrón de arcilla?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Medir el efecto floculante la (<i>Opuntia ficus indica</i>) pulverizada (a tres concentraciones: 70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>- -Medir el efecto floculante a tres concentraciones de (<i>Opuntia ficus indica</i>) pulverizada (70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla.</p> <p>-Establecer la correlación positiva entre la dosis del floculante (<i>Opuntia ficus indica</i>) y la remoción de la turbidez en la solución patrón de arcilla.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>La (<i>Opuntia ficus indica</i>) pulverizada (a tres concentraciones: 70mg/L ,90mg/L y 110 mg/L) presenta un efecto floculante para la remoción de la turbidez de una solución patrón de arcilla.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>- La dosis óptima de (<i>Opuntia ficus indica</i>) pulverizada alcanza la máxima remoción de turbidez de una solución patrón de arcilla.</p> <p>-Existe una correlación positiva entre la dosis del floculante (<i>Opuntia ficus indica</i>) y la remoción de la turbidez en la solución patrón de arcilla.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Dosis de floculante (<i>Opuntia ficus indica</i>)</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Remoción de turbidez</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada Diseño: Experimental Alcance: Explicativo Enfoque: Cuantitativo</p> <p><b>Técnica:</b> Prueba de Jarras</p> <p><b>Instrumentos:</b> Equipo Test de Jarras</p>	<p><b>Población:</b> 9L de agua turbia creada con patrón de arcilla</p> <p><b>Muestra:</b> 18 muestras experimentales (500 mL de agua a diferentes niveles de turbidez cada una a base de disoluciones de una solución patrón de arcilla)</p>

## ANEXO N° 2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO PH



**OMEGA PERU S.A.**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**0039-OP.M-2023**

**ÁREA DE METROLOGÍA**

---

**Solicitante** : UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
**Dirección** : Av. Alfredo Mendiola N° 6062 - Los Olivos  
**Expediente** : 28594  
**Referencia** : O/S N° PER03-0000083431  
**Instrumento de Medición** : MEDIDOR MULTIPARÁMETRO (EN PARÁMETRO DE PH)  
**Alcance de Indicación** : 0,00 a 14,00 pH (\*)(\*\*)  
**Resolución** : 0,001 / 0,01 / 0,1 pH (\*)(\*\*)  
**Marca** : Hach Co.  
**Modelo** : HQ40d  
**Serie** : 191100028309  
**Código** : 6-006448  
**Procedencia** : U.S.A.  
**Modelo del Electrodo** : PHC10101  
**Serie del Electrodo** : 193122561067

**Método de Calibración**  
 La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento PC-OMEGA-001 para la Calibración de pH-metros Digitales

**Fecha de Calibración** : 15/03/2023  
**Lugar de Calibración** : LABORATORIO DE METROLOGIA - OMEGA PERU S.A.

**Condiciones Ambientales**

Temperatura	28 °C
Humedad Relativa	81 %
Presión Atmosférica	1006 mbar

**Patrones de Referencia**

Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a la NIST / IUPAC	Certificado de Calibración / N° de Lote
Termómetro Digital - Cole Parmer - Model 90205-01	LT-0450-2022
Material de Referencia Certificado Marca Radiometer pH 4,005 @ 25 °C	1695-D-K-15184-01-00 2021-12 / C02915
Material de Referencia Certificado Marca Radiometer pH 7,000 @ 25 °C	1691-D-K-15184-01-00 2021-12 / C02911
Material de Referencia Certificado Marca Radiometer pH 10,012 @ 25 °C	1708-D-K-15184-01-00 2022-02 / C02927

**Resultados**

Indicación (pH)	Valor de referencia (pH)	Corrección (pH)	Incertidumbre (pH)
4.01	4.010	0.000	0.012
6.97	6.991	0.021	0.012
9.98	9.981	0.001	0.012

Nota: Los resultados están dados a la temperatura de referencia de 28.3 °C

**Incertidumbre**  
 La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

**Observaciones**

- Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.
- Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva
- (\*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante
- (\*\*) Unidades de pH
- Los resultados corresponden al promedio de 3 mediciones

---

Fecha de Emisión 15/03/2023 Responsable del Área de Metrología

Realizado por:



LIZ NOLBERTO GAONA  
Técnica Metrologa  
Servicio Técnico  
OMEGA PERU S.A.



Ing. FELIX CAMARENA F.  
CIP 088393  
Jefe de Servicio Técnico  
OMEGA PERU S.A.

HC-OP.M-001 Pág 1 / 1

## ANEXO N° 2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO

### TURBIDIMETRO



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

0044-OP.M-2023

ÁREA DE METROLOGÍA

---

**Solicitante :** UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
**Dirección :** Av. Alfredo Mendiola N° 6062 - Los Olivos  
**Expediente :** 28594  
**Referencia :** O/S N° PER03-0000083431  
**Instrumento de Medición :** TURBIDÍMETRO  
**Alcance de Indicación :** 0 NTU a 9,99 NTU / 10,0 NTU a 99,9 NTU / 100 NTU a 1 000 NTU (\*)  
**Resolución :** 0,01 NTU / 0,1 NTU / 1 NTU  
**Marca :** Hach Co.  
**Modelo :** 2100Q  
**Serie :** 16010C047370  
**Código :** 3-023785

**Método de Calibración**  
 La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento PC-OMEGA-004 para la Calibración de Turbidímetro  
**Fecha de Calibración :** 13/03/2023  
**Lugar de Calibración :** LABORATORIO DE METROLOGIA - OMEGA PERU S.A.  
**Condiciones Ambientales**

Temperatura	29 °C
Humedad Relativa	77 %
Presión Atmosférica	1004 mbar

**Patrones de Referencia**

Estándar Formacina Marca HACH Stabcal (**)	N° de Lote
N° de Catálogo 26848-01 Solución 20 NTU o FTU	A2124
N° de Catálogo 26849-01 Solución 100 NTU o FTU	A2112
N° de Catálogo 26605-01 Solución 800 NTU o FTU	A2118

**Resultados**

Indicación (NTU)	Valor de referencia (NTU)	Corrección (NTU)	Incertidumbre (NTU)
20.2	20.2	0.0	0.16
102	102.0	0.0	0.92
816	816.4	0.4	5.80

**Incertidumbre**  
 La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

**Observaciones**  
 - Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.  
 - Con fines de identificación de la condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva  
 (\*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante  
 (\*\*) La formacina es aceptado como estándar primario por The United States Environmental Protection Agency (USEPA)  
 - Los resultados corresponden al promedio de 3 mediciones

---

Fecha de Emisión: 15/03/2023
Responsable del Área de Metrología

Realizado por:



**LIZ NOLBERTO GAONA**  
Técnica Metrologa  
Servicio Técnico  
OMEGA PERU S.A



**Ing. FELIX CAMARENA F.**  
CIP 088393  
Jefe de Servicio Técnico  
OMEGA PERU S.A.

HC-OP.M-004
Pág 1 / 1

Prohibida su reproducción total o parcial de este documento  
 Av. Oscar R. Benavides N° 1593 Int. A Urb. Chacra Rios Norte Lima / Telfs.: 336-6523 • 657-6206 • 657-6207  
 e-mail: metrologia@omegaperu.com.pe

### ANEXO N° 3: PANELES DE FOTOGRAFÍAS

**FOTOGRAFIA N°1: Materiales e instrumentos en la experimentación del trabajo de investigación,**



**FOTOGRAFIA N°2: Equipo Turbidímetro HACH 2100Q**



**FOTOGRAFIA N°3: Equipo de medición del PH**



**FOTOGRAFIA N°4: Preparación de la concentración madre 0.5% (V/m) de (*Opuntia ficus indica*)**



**FOTOGRAFIA N°5: Agregando dosis respectivas a las muestras de agua turbias**



**FOTOGRAFIA N°6: Testes de Jarras en funcionamiento con las muestras a analizar (29.7 NTU ,60.9 NTU ,70.3 NTU,170 NTU ,300 NTU y 534 NTU)**



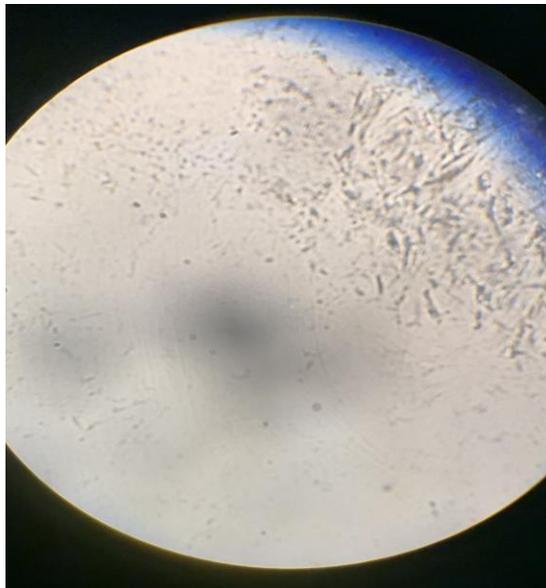
**FOTOGRAFIA N°7: Equipo de Microscopio STAR usando el lente 10X**



**FOTOGRAFIA N°8: Se observan sedimentos en el fondo de vasos precipitados**



**FOTOGRAFIA N°9: Muestra microscópica de sedimentos precipitados**



## ANEXO N° 5: LA HOJA DE REVISIÓN DE LAS FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

N°	TÍTULO	AUTOR
1	Utilización de Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas.	-Rafael Enrique Olivero Verbel, -Yelitza del Rosario Aguas Mendoza, -Iván Darío Mercado Martínez, -Diana Paola Casas Camargo & -Luz Elena Montes Gazabón.
2	Evaluación del poder coagulante dela tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas.	-Martínez García,J -González Silgado, L
3	Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).	-Olivero Verbel,R. - Mercado Martínez,I., -Montes Gazabón,L
4	Determinación de la eficiencia del ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) como biocoagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río Bulubulu´.	-Atupaña Guzmán. F -Guacho Quiroz. J
5	Eficiencia de la tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) como biocoagulante para la clarificación del agua de estero Medina, parroquia Bellamaría, provincia el Oro.	-Ruiz Guzmán, G
7	“Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) Tuna con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018” ´	-Lozano Florián, Lorena Lizeth
8	Caracterización de la ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) para su uso como coagulante natural.	-Ángel Villabona Ortiz -Isabel Cristina Paz Astudillo -Jasser Martínez García
9	Eficiencia de ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) (cruda y desecada) como coagulante para la clarificación de aguas.	-Yoalis González -Anaís López, Gelvis Potella