



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

T E S I S

**EFFECTO DE LA POTENCIA DE ULTRASONIDO, pH Y
TEMPERATURA EN LA EXTRACCIÓN DE MUCILAGO
DE NOPAL PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUA CRUDA, 2021**

PRESENTADA POR

BACH. FERNANDO ALONSO TRAVEZÁN ALPACA

ASESOR

MGR. ERIK EDWIN ALLCCA ALCA

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

MOQUEGUA – PERÚ

2022

CONTENIDO

	Pág.
Página de jurado	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Contenido	iv
Contenido de tablas	vii
Contenido de figuras	ix
Contenido de apéndices	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	xiii

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema	1
1.2. Definición del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación	3
1.5. Alcances y limitaciones	4
1.5.1. Alcances	4
1.5.2. Limitaciones	4
1.6. Variables	5
1.6.1. Identificación de variables	5

1.6.2. Operacionalización de variables.....	6
1.7. Hipótesis de la investigación	6
1.7.1. Hipótesis general	6
1.7.2. Hipótesis específicas	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1. Opuntia	10
2.2.2. Mucilago	11
2.2.3. Composición química del cladodio y mucilago.....	12
2.2.4. Extracción sólida – líquido	13
2.2.5. Coagulación	14
2.2.6. Factores que influyen en la coagulación.....	15
2.2.7. Características del floc.....	16

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación.....	17
3.2. Diseño de la investigación	17
3.3. Ubicación de la realización del experimento.....	20
3.4. Población y muestra.....	20
3.4.1. Población	20
3.4.2. Muestra	21
3.5. Descripción de instrumentos para recolección de datos	21
3.5.1. Técnica para la recolección de datos	21
3.5.2. Instrumentos para recolección de datos	21

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados	27
4.2. Contraste de hipótesis	42
4.3. Discusión de resultados	42

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	46
5.2. Recomendaciones.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
APÉNDICES	56
MATRIZ DE CONSISTENCIA	606

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2 Composición química de cladodio de nopal amarillo.....	12
Tabla 3 Composición química del mucílago de Opuntia (g/100 g muestra).....	13
Tabla 4. Análisis de varianza para un arreglo factorial completo de 3 factores ...	20
Tabla 5. Toma de datos en la I etapa.....	25
Tabla 6. Toma de datos	26
Tabla 7 Análisis de varianza para rendimiento porceUNTal	27
Tabla 8 Prueba de medias LSD Fisher para potencia	28
Tabla 9 Prueba de medias LSD Fisher para pH	28
Tabla 10 Prueba de medias LSD Fisher para temperatura.....	29
Tabla 11 Prueba de medias LSD Fisher para potencia * pH	29
Tabla 12 Prueba de medias LSD Fisher para potencia * temperatura	30
Tabla 13 Prueba de medias LSD Fisher para pH * temperatura	30
Tabla 14 Prueba de medias LSD Fisher para potencia * pH * temperatura	31
Tabla 15 Análisis de varianza para pH	32
Tabla 16 Prueba de medias LSD Fisher de concentración para pH.....	32
Tabla 17 Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad para pH ..	33
Tabla 18 Prueba de medias LSD Fisher de velocidad * tiempo para pH.....	34
Tabla 19 Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad * tiempo para pH	34
Tabla 20 Análisis de varianza para turbidez	35
Tabla 21 Prueba de medias LSD Fisher de concentración para turbidez.....	35

Tabla 22 Prueba de medias LSD Fisher de velocidad para turbidez.....	36
Tabla 23 Prueba de medias LSD Fisher de tiempo para turbidez	36
Tabla 24 Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad para turbidez	37
Tabla 25 Prueba de medias LSD Fisher de concentración * tiempo para turbidez	37
Tabla 26 Prueba de medias LSD Fisher de velocidad * tiempo para turbidez	38
Tabla 27 Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad * tiempo para turbidez	39
Tabla 28 Análisis de varianza para conductividad eléctrica	39
Tabla 29 Prueba de medias LSD Fisher de concentración para conductividad eléctrica.....	40
Tabla 30 Prueba de medias LSD Fisher de concentración * tiempo para conductividad eléctrica	40
Tabla 31 Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad * tiempo para conductividad eléctrica	41

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructuras de los polímeros presentes en el mucilago.	12
Figura 2. Intercambio de carga y formación de coagulo.....	15
Figura 3. Diseño del experimento en la primera etapa de estudio.	18
Figura 4. Diseño del experimento en la segunda etapa de estudio.....	19
Figura 5. Ubicación del Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial UNAM.....	21
Figura 6. Diagrama de flujo de experimento en la I etapa.....	23
Figura 7. Diagrama de flujo de experimento en la I etapa.....	24

CONTENIDO DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A.....	56
Apéndice B.....	57
Apéndice C.....	58
Apéndice D.....	59
Apéndice E.....	60

RESUMEN

El presente trabajo de investigación es aplicado del tipo experimental que tuvo por objetivos específicos: Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido (0, 50 100 %), pH (5, 6 ,7 pH) y temperatura (40, 60 y 80 °C) sobre el rendimiento del mucilago de nopal. Evaluar el efecto de la concentración de mucilago (0, 5, 10 g/L), velocidad de agitación (20, 80, 140 rpm) y tiempo (10, 40 y 70 min) sobre los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales) en el tratamiento del agua cruda. Se utilizó cladodios de nopal obtenidas en el centro poblado de los Ángeles - Moquegua, obteniéndose el mayor rendimiento de extracción a potencia 50%, pH 5 y temperatura de 80°C con 56,78% además que se demostró que existe diferencia estadística significativa (p-valor <0,05) en los factores e interacciones. Para el tratamiento utilizando mucilago, para pH el mejor resultado se presentó utilizando concentración 10 g/L, velocidad 140 rpm y tiempo 10 min el pH resultante fue de 7,59 pH. Para la conductividad eléctrica el menor valor obtenido se presentó a concentración 10 g/L, velocidad 80 rpm y tiempo 70 min es de 512 μ S/cm. De la turbidez considerando los factores de concentración de mucilago, velocidad de agitación y tiempo, los resultados obtenidos se muestran un p-valor <0,01 presentando diferencia estadística altamente significativa en todos los factores e interacciones, el menor valor de turbidez se presentó a concentración 5 g/L, velocidad 20 rpm y tiempo 70 min es de 44,33 UTN.

Palabras clave. Extracción asistida por ultrasonido, mucilago, rendimiento, floculante.

ABSTRACT

The present research work is applied of the experimental type that had specific objectives: Evaluate the effect of ultrasound power (0, 50 100%), pH (5, 6, 7 pH) and temperature (40, 60 and 80 ° C) on the yield of nopal mucilage. Evaluate the effect of mucilage concentration (0, 5, 10 g/L), stirring speed (20, 80, 140 rpm) and time (10, 40 and 70 min) on physicochemical parameters (pH, turbidity, conductivity electricity, total suspended solids) in the treatment of raw water. Nopal cladodes obtained in the town of Los Angeles - Moquegua were used, obtaining the highest extraction yield at 50% power, pH 5 and temperature of 80 ° C with 56.78%, in addition to showing that there is a significant statistical difference (p-value <0.05) in the factors and interactions. For the treatment using mucilage, for pH the best result was presented using concentration 10 g/L, speed 140 rpm and time 10 min, the resulting pH was 7.59 pH. For electrical conductivity, the lowest value obtained was 512 $\mu\text{S}/\text{cm}$ at a concentration of 10 g/L, speed of 80 rpm and time of 70 min. Regarding the turbidity considering the factors of mucilage concentration, agitation speed and time, the results obtained show a p-value <0.01, presenting a highly significant statistical difference in all the factors and interactions, the lowest value of turbidity was presented at concentration 5 g/L, speed 20 rpm and time 70 min is 44.33 UTN..

Keywords. Ultrasound assisted extraction, mucilage, yield, flocculant.

INTRODUCCIÓN

La familia de las cactáceas al cual pertenece el género *Opuntia* dentro de su estructura contiene mucílago que es un polisacárido de alto peso molecular y se comporta como un polielectrolito (Medina et al., 2000), debido a sus propiedades viene siendo utilizado tanto en la industria alimentaria, farmacéutica y como insumo en el tratamiento de agua como floculante natural (Bouatay & Mhenni, 2014). Estudios demuestran que el mucilago está constituido por: L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico (Sepúlveda, Sáenz, Aliaga, y Aceituno, 2007), esta combinación de carbohidratos genera floculo que son utilizados para el tratamiento primario de aguas cuya función es aglutinar material y/o partículas finas suspendidas en el agua que a partir de la acción de este mejorar la precipitación de dichas partículas, reduciendo así la turbidez del agua (Castañeda et al., 2019).

Es por ello, que la extracción de mucilago genera expectativas y se vienen utilizando tecnologías alternativas, una de ellas, es la extracción asistida por ultrasonido y los parámetros (potencia, densidad, temperatura, tiempo entre otros) que se deben utilizar durante este proceso (Bayar et al., 2017).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

El agua es uno de los elementos que más abunda en el planeta, según Fernández (2012) menciona que el 70% del total de la superficie del planeta es ocupado por agua, este se encuentra en los tres estados de la materia sólido (glaciares), gaseoso (aire) y líquido (aguas dulces y saladas), el agua dulce solo representa el 3 % del total del agua líquida, el resto corresponde a agua salada, a su vez el agua consumible o potable está conformado por el 0,025 % del agua dulce. Es por ello la necesidad de poder utilizar adecuadamente el agua para su consumo.

Los procesos utilizados en el tratamiento del agua son de: filtración, que consiste en separar material no soluble en agua como cuerpos sólidos (piedras, arenas, y otros), sedimentación, consiste en precipitar partículas como arcillas las cuales demoran, a estas operaciones se le conoce como proceso primario, la adición de coagulante acelera la precipitación de las partículas suspendidas causantes de la turbidez y color en una suspensión coloidal. Esta agrupación permite que se formen partículas de mayor tamaño (flóculos) que puedan sedimentar, para luego separarlas

por filtración (Gurdián & Coto, 2003).

El uso de coagulantes es necesario para reducir los tiempos en el proceso de potabilización, los coagulantes sintéticos más utilizados por la industria son elaborados a base de sales de aluminio y de hierro, como: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro de hierro (II) y sulfato de hierro (II), los coagulantes sintéticos acidifican el agua y le confieren otras propiedades no deseables (Barrenechea et al., 2004), es por ello se busca alternativas limpias y económicas, a través del uso de coagulantes de origen vegetal. El mucilago es un coagulante natural soluble en agua, y actúa de forma similar a los coagulantes sintéticos en el proceso de clarificación del agua cruda (Vargas & Romero, 2006). Las principales ventajas que presentan son: su rentabilidad, poca alteración del pH y su biodegradabilidad. La extracción de mucilago de nopal se basa en someter el cladodio de nopal en agua a un tiempo y temperatura determinada, por lo que se pretende utilizar ultrasonido a diferente potencia a fin de obtener mejor rendimiento del mucilago de nopal y poder utilizarla en el tratamiento de agua cruda.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido, pH y temperatura en la extracción de mucilago en el nopal y su utilización como coagulante en el tratamiento de agua?

1.2.2. Problemas específicos.

¿Cuál es el efecto de potencia de ultrasonido, pH y temperatura sobre el rendimiento del mucilago de nopal?

¿Cuál es el efecto de la concentración de mucilago, velocidad de agitación y tiempo sobre las propiedades fisicoquímicas (pH, turbidez, conductividad eléctrica, solidos suspendidos totales) en el tratamiento de agua cruda?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido, pH y temperatura en la extracción de mucilago de nopal como coagulante para el tratamiento de agua cruda.

1.3.2. Objetivos específicos.

Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido, pH y temperatura sobre el rendimiento del mucilago de nopal.

Evaluar el efecto de la concentración de mucilago, velocidad de agitación y tiempo sobre los parámetros fisicoquímicas (pH, turbidez, conductividad eléctrica, solidos suspendidos totales) en el tratamiento del agua cruda.

1.4. Justificación

Los coagulantes sintéticos se basan en compuestos inorgánicos convencionales de aluminio (sulfato de aluminio, aluminato de sodio) o hierro (sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico), las cuales acidifican el agua y posterior a ello se debe regular el pH adicionando un álcali como cal o soda cáustica (Flórez, 2011). Además, estos productos químicos en ocasiones son costosos o pueden tener efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente.

- **Justificación social.** Proponer una alternativa de tratamiento de agua pidiendo utilizar materiales naturales.
- **Justificación económica.** El opuntia es una planta rustica que crece en varios lugares de Moquegua, y al no ser costosa se puede darle valor agregado ya que este método no utilizara el fruto sino los cladodios.
- **Justificación ambiental.** El proceso de tratamiento al ser un polímero natural este es biodegradable y no traería consigo mayores daños al ambiente

La necesidad de consumo de agua se acrecienta debido al incremento de las poblaciones tanto urbanas como rurales, en el segundo caso las personas buscan nuevas fuentes de agua a fin de satisfacer sus necesidades.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances.

La presente investigación es de carácter experimental, el cual pretende extraer mucilago de nopal y proponer un método para tratar el agua cruda, el método propuesto será de fácil acceso a los pobladores a fin de que en lo posterior pueda ser utilizada por los mismo.

1.5.2. Limitaciones.

No se podrá caracterizar el mucilago obtenido, debido a que no se cuenta con los patrones en los laboratorios del Perú.

1.6. Variables.

1.6.1. Identificación de variables.

1.6.1.1. Variable independiente.

De la etapa I son:

- Potencia de ultrasonido (10%, 50% 100%)
- pH (5, 6 ,7)
- Temperatura (40, 60 y 80 °C)

De la etapa I son:

- Concentración (0, 5, 10 g/L)
- Velocidad (20, 80, 140 rpm)
- Tiempo (10, 40 y 70 min)

1.6.1.2. Variables dependientes.

- Rendimiento
- Características fisicoquímicas

1.6.1.3. Variables intervinientes.

- Altitud.
- Temperatura ambiental.

1.6.2. Operacionalización de variables.

La tabla 1 muestra la operacionalización de variables del presente proyecto de investigación:

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Nivel	Indicadores	Unidad	Instrumento	
I etapa						
Independiente	Ultrasonido	0, 50, 100	potencia	kHz	Homogeneizador ultrasónico	
	pH	5, 6, 7	pH	pH	pH metro	
	Temperatura	40, 60, 80	temperatura	°C	Termómetro	
	II etapa					
	Concentración	0, 5, 10	concentración	g/l	Volumetría	
	Velocidad de Agitación tiempo	20, 80, 140	rpm	rpm	Test de jarra	
	10, 40, 70	minutos	min	Cronometro		
I etapa						
Dependiente	Rendimiento		masa/masa	g	Gravimetría	
	II etapa					
	Turbidez		UNT	UNT	Tubímetro	
	Contenido de sales disueltas*		Conductividad eléctrica	Siemens	Conductímetro	
	Potencial de hidrogeno*		pH	pH	pH metro	
I etapa						
Intervinientes	Altitud		Metros sobre el nivel del mar	m.s.n.m.	GPS	
	Temperatura ambiental		Grados centígrados	°C	Termómetro	

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

El mucilago de nopal puede ser utilizado como floculante para poder ser utilizarlo en el tratamiento de agua cruda.

1.7.2. Hipótesis específicas.

El uso de la potencia de ultrasonido, pH y temperatura incrementara el rendimiento en la obtención del mucilago de nopal.

La aplicación de la concentración de mucilago, velocidad de agitación y utilizados en el tratamiento de agua cruda mejorara las propiedades fisicoquímicas del agua tratada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Pinto (2017) en su trabajo “Evaluación y comparación de la efectividad del uso de floculantes naturales *Aloe vera* (Sábila) y *Opuntia ficus-indica* (Nopal/Tuna) y orgánicos (Ferrocryl y Chemlok) en el tratamiento de aguas residuales del proceso de teñido de la empresa Franky y Ricky S.A.” realizado en Arequipa, utilizó diferentes concentraciones”. Se evaluaron concentraciones de 0,5 mg/mL, 1 mg/mL, 1.5 mg/mL, 2 mg/mL y 2,5 mg/mL tanto de mucílago de *Aloe vera* y de *Opuntia ficus-indica*, sobre diferentes parámetros como conductividad, pH, turbidez entre otros. Obteniendo resultados positivos para el mucílago de *Opuntia ficus-indica* sobre el *Aloe vera*, para turbidez las concentraciones < de 2 mg/mL no presenta diferencia estadística significativa con valor de ~ 60 UNT.

Guevara & Gutiérrez (2014) en su trabajo “Optimización de la extracción de mucílago de nopal (*Opuntia spp.*). Tuvo como objetivo la aplicación de ultrasonido, utilizaron 30 kg de *Opuntia spp.*, que se lavaron y

desinfectaron con hipoclorito de sodio, luego fueron secado y almacenados a 5°C. Para la extracción de mucilago se hicieron cortes homogéneos de (0.78 cm x 0.3 mm), los cortes se mezclaron con agua destilada en una proporción 1:3 y se colocaron en un vaso precipitado de 500 mL. Se utilizó un diseño central compuesto con 13 tratamientos variando la potencia de ultrasonido y temperatura, el tiempo aplicado a todos los tratamientos fue de 25 minutos. El ultrasonido utilizado fue un Branson Sonifier, modelo 450 con sonda de área de 1.13 cm², la sonda se sumergió a 7 cm. De acuerdo a los resultados obtenidos, la utilización de ultrasonido puede ser utilizada como una tecnología emergente para disminuir significativamente tiempos de procesamiento, mejorar la transferencia de masa y aumentar rendimientos.

Bayar et al. (2017) en su trabajo “Extracción ultrasónica de mucilago de ficus de la Opuncia indica cladodes después de retiro del mucilago” .La extracción asistida ultrasónica (UAE) del mucilago de la opuncia indica (OFI) a partir de los cladodio después del retiro del mucilago fue intentada usando la metodología de superficie de respuesta MSR. Las variables de proceso fueron optimizadas por el diseño compuesto central a fin de mejorar la producción de extracción del mucilago. La condición óptima obtenida era: tiempo de sonication 70 minutos, temperatura 70 °C, pH 1.5 y la proporción acuática y material 30 ml/g. Esta condición fue validada y la realización de la extracción experimental era el 18.14% el \pm el 1.41%, que fue estrechamente unido al valor predito (el 19.06%). Así, UAE presenta una alternativa prometedora al proceso de extracción convencional gracias a su alta eficacia que fue conseguida en menos tiempo y a temperaturas inferiores.

Fabre et al. (2015), en su trabajo “Ultrasonicacion como un método eficiente de extracción del mucilago de la linaza”. Tres métodos de la extracción acuosa del mucilago de la linaza (solvente, microondas y ultrasonido) fueron comparados y probados, linazas enteras en una concentración del 5% (w/v) y una temperatura de 50 °C, fueron sometidos a microondas y ultrasonido, encontrándose que las microondas son menos eficientes que un incentivo magnético, la extracción asistida por el ultrasonido mostró el coeficiente de transferencia de masa más alto. El 7% de la masa de la semilla fue extraído después de sólo 30 minutos del tratamiento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Opuntia.

Opuntia spp., es comúnmente conocido como nopal, esta planta pertenece a la familia de las cactáceas, se desarrolla principalmente en zonas áridas y semiáridas. Presenta el metabolismo del ácido crusaláceo (MAC) debido a que las estomas captan el CO₂ por la noche que serán utilizados para la síntesis de carbohidratos, ello logra que la planta pueda perder agua en menor durante días calurosos (Torres et al., 2015).

Las hojas de nopal conocidas como cladodio, son suculentas y formadas como una raqueta de aproximadamente 60-70 cm de la longitud con un grosor de 2-3 cm, el grosor depende tanto de la edad de la planta como del agua y demás nutrientes retenidos en el cladodio. La epidermis presenta dos capas, una de células verdes (clorénquima) y otra capa interna formada células blancas que contienen el mucilago (parénquima), su función principal es el almacenaje del agua. Dentro de los tejidos, en el clorénquima y parénquima, hay células mucilaginosas, este

material es comúnmente conocido como “mucilago de nopal”. Estas células particulares son más abundantes en el parénquima. Este mucilago complejo expone la propiedad osmótica de retener el agua fuertemente (Sepúlveda et al., 2007).

Los estudios del tejido han demostrado que el mucilago sólo está presente en el Aparato de Golgi, y la síntesis del mucilago ocurre probablemente en ello y en las vesículas (Trachtenberg y Mayer, 1981). Estos polisacáridos al disolverse en el agua forman coloides y suspensiones muy viscosas (Trachtenberg & Mayer, 1980).

2.2.2. Mucilago.

Los polisacáridos capaces de formar geles en agua, son comunes en todo el reino vegetal, algunos de ellos como las pectinas en plantas superiores, los carragenatos y la agarosa en algas han sido investigados con gran detalle y se sabe bastante sobre su bioquímica y propiedades biofísicas. Por el contrario, los compuestos a menudo denominados mucílagos han sido mucho menos estudiados, los mucílagos son generalmente heteropolisacáridos, con un ácido urónico variable (Trachtenberg & Mayer, 1981)

Los mucilagos son sustancias poliméricas complejas formadas a partir de hidratos de carbono, el cual presentan proporciones variadas de L-arabinosa, D-galactosa, L-rhamnosa, D-xilosa y ácido galacturónico. La estructura del mucilago es propuesta como dos fracciones solubles en agua. Uno es una pectina con propiedades que se cuajan con Ca^{2+} , y el otro es un mucilago sin propiedades que se cuajan (Sepúlveda et al., 2007). El ficus de la Opuntia indica la fracción de

polisacárido soluble en agua con propiedades que se coagulan, que representa proporciones menores del 10% del material soluble en agua. (Majdoub et al., 2001).

En particular, el mucilago de nopal es formado de arabinosa, galactosa, rhamnosa, xilosa y ácido galacturónico (Trachtenberg y Mayer, 1981). Hay otros minerales presentes, como Ca^{2+} y el K^+ , y fibra alimenticia de gran interés en cuanto a la nutrición humana (Sepúlveda et al., 2007).

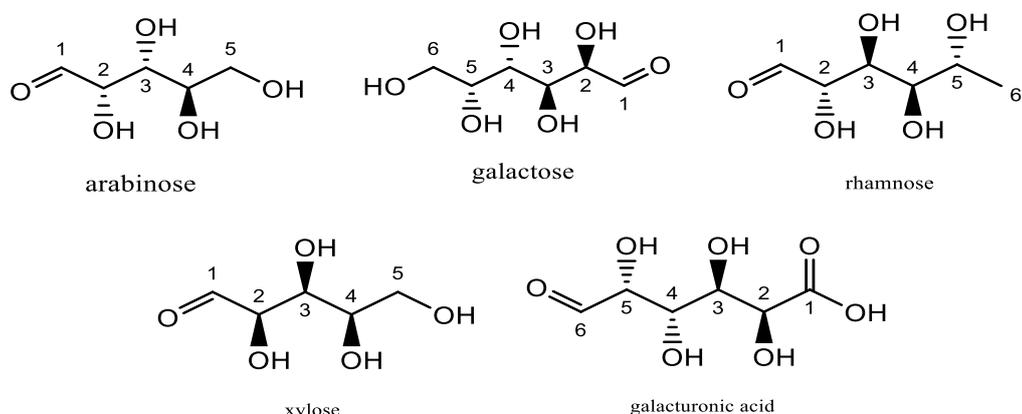


Figura 1. Estructuras de los polímeros presentes en el mucilago.

2.2.3. Composición química del cladodio y mucilago.

La composición del cladodio de nopal depende mucho de la edad de la planta según lo demuestra Guzmán y Chávez (2007), estos resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Composición química de cladodio de nopal amarillo

	1 mes de edad	1 año de edad
Humedad %	92,57	94,33
Proteína %	0,94	0,48
Ceniza %	0,008	1,60
Carbohidratos %	5,96	2,43
Fibra %	0,30	1,06
Ca %	0,042	0,339
K %	0,00098	0,145

Fuente: Guzmán y Chávez, 2007.

La composición del mucilago depende mucho de su método de extracción, según Sepúlveda et al. (2007), que utilizo diferentes solventes como etanol e isopropanol obtuvo la siguiente composición según se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Composición química del mucílago de Opuntia (g/100 g muestra)

	Etanol	Isopropanol
Humedad	4,9±0,6	5,5±1,1
Proteína	7,9±1,5	6,1±0,7
Ceniza	36,2±2,3	39,1±2,4
Nitrógeno	1,3±0,2	1,0±0,1
Ca	10,9±0,7	12,7±1,6
K	1,6±0,2	2,0±0,3

Fuente: Sepúlveda et al., 2007.

2.2.4. Extracción sólida – líquido.

Ramírez et al. (2016), menciona que, la extracción solido-líquido es un método para separar sustancia en una solución por medio de un solvente, las etapas más importantes son las siguientes:

- Dilución de los compuestos solubles y la separación con el solvente.
- Recuperación del solvente, considerando que pueden ser reutilizados.
- Lavado del sólido para incrementar recuperación de compuesto o sustancia.

Dentro de los factores más importantes para la separación se tiene:

- Tamaño de partículas. cuánto más pequeñas sean, mayor será superficie de contacto por lo que se incrementara la transferencia de masa, facilitando la extracción.
- Solvente.

- Temperatura. A mayor temperatura incrementa la solubilidad y el coeficiente de transporte de masa.

2.2.5. Coagulación.

La separación sólida y líquida a través de la coagulación es una operación importante en el tratamiento aguas potable y residual (Zou et al., 2011). La coagulación de las sustancias disueltas y otros se refiere a la teoría de Derjaguin Landáu Verwey Overbeek DLVO, donde se refiere que el proceso de coagulación se basa en poder vencer la barrera de energía repulsiva generada por las partículas aumentando simplemente su fuerza iónica (Derjaguin, 1987).

Un coagulante inorgánico se basa en sales de aluminio y de hierro las cuales neutralizan las partículas suspendidas, facilitando la adhesión de partículas suspendidas formando así un coloide que al incrementar su gravedad específica a partir del campo electromagnético generado podrá precipitar con mayor facilidad (Uriev, 2016). El proceso de floculación implica la adición de un reactivo químico para la formación de floc por lo general después de la coagulación a fin de aglomerar los sólidos coloidales no configurables (Lee et al., 2012).

La coagulación es un tratamiento muy eficaz, pero a su vez representa un gasto elevado al no realizarse de manera adecuada, elimina materiales suspendidos no deseados en el agua pero también puede generar eutrofización si es utilizado en aguas naturales como lagunas debido a que el precipitado alteraría la biota del fondo de la laguna, el uso de los coagulantes inorgánicos trae consigo alteraciones de pH reduciéndolas a sal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en

comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante esta mal ajustada (Cabrera et al., 2009).

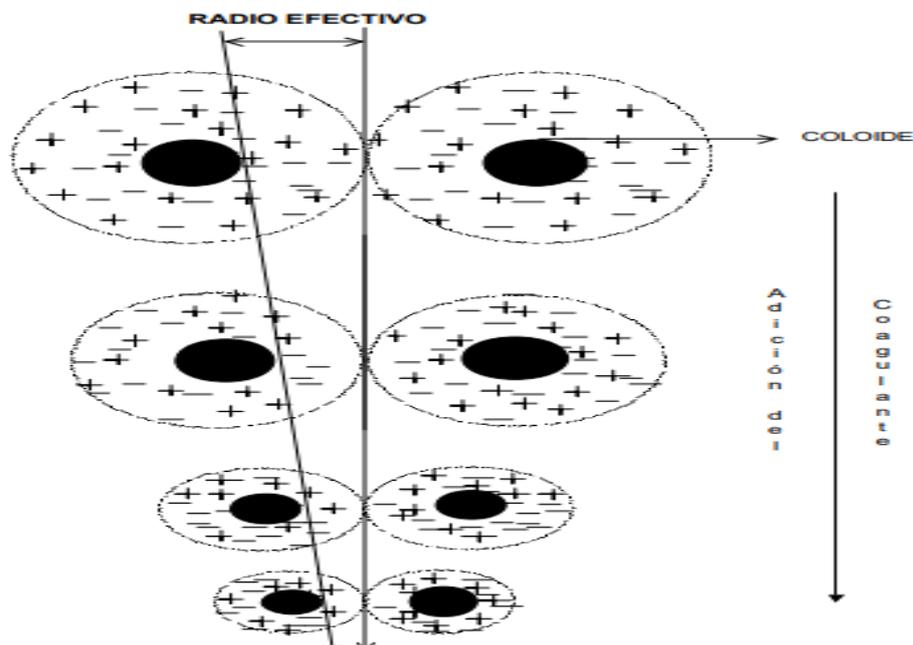


Figura 2. Intercambio de carga y formación de coágulo

Fuente: Derjaguin, 1987.

2.2.6. Factores que influyen en la coagulación.

Cabrera et al. (2009), mencionan que, es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.

- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.

2.2.7. Características del floc.

Las características de floc son importantes, por que afectan la separación sólida/líquida y luego la eficacia de coagulación, los flocs debe resistir a las tensiones y se debe evitar que se formen partículas más pequeñas, que precipitaran más despacio que partículas de mayor tamaño (McCurdy et al., 2004). Los flocs generados son retiradas por medio de la filtracion, pero debido a la fragilidad de los flocs de romprse, estos pueden tapar los oros de la membrana, los flocs formados durante el proceso de coagulación exponen una característica fractal. Para la medida de fuerza floc, sin embargo, no hay método estandarizado establecido, la fuerza de floc depende de los enlaces entre los componentes del conjunto, cuando la tensión en la superficie de floc sea más grande que la fuerza de vinculación, un floc estará roto (Jiang, 2015). Varias investigaciones sugieren que la fuerza floc depende no sólo del declive de velocidad sino también las especies que se coagulan, dosis del coagulante, la propiedad de contaminadores como mecanismos de coagulación y soluciones (McCurdy et al., 2004).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

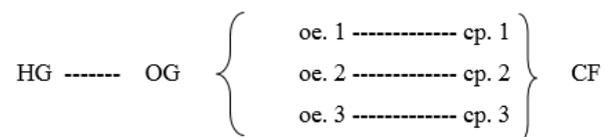
Por su finalidad es aplicada

Por el tipo de diseño de investigación es experimental cuantitativa

Por su prolongación en el tiempo es transversal o sincrónica.

3.2. Diseño de la investigación

En la presente investigación se empleó un diseño por objetivos como se observa en el siguiente esquema:



Donde:

- HG = Hipótesis general.
- OG = Objetivo general.
- oe = Objetivo específico.
- cp = Conclusión parcial.
- CF = Conclusión final.

El presente trabajo de investigación analizó el rendimiento del mucilago en una primera etapa cuyos factores evaluados fueron: potencia de ultrasonido (0, 50 y 100%), pH (5, 6 y 7), y temperatura (40, 60 y 80 °C), por triplicado (ver figura 3). En la segunda etapa se utilizó el mucilago como coagulantes para el tratamiento de agua donde los factores evaluados fueron: concentración (0, 5 y 10 mg/L), velocidad de agitación (0, 25 y 50 rpm), y tiempo (10, 40 y 70 min) a fin de obtener las características fisicoquímicas (pH, turbidez y conductividad eléctrica) del agua tratada (ver figura 4). En la primera y segunda etapa se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 3 x 3 con 3 repeticiones, además de una prueba de medias LSD Fisher cuando existieron diferencia estadística significativa, el diseño y modelo estadístico detallamos a continuación:

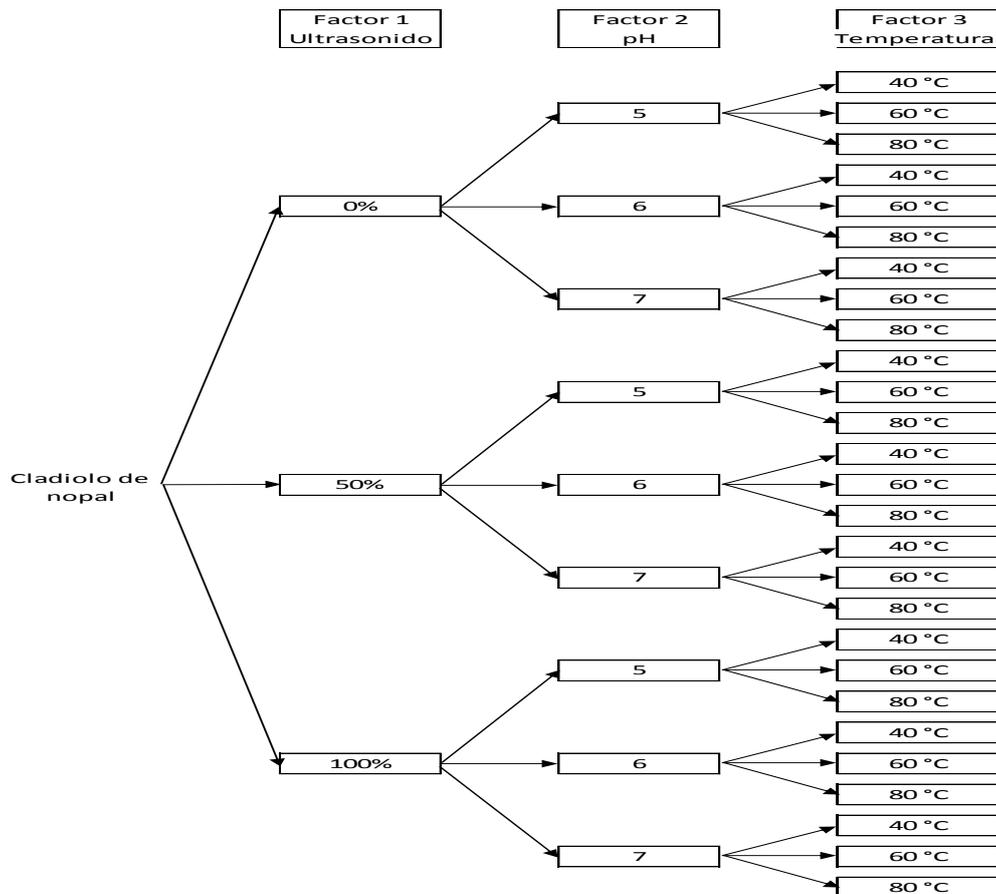


Figura 3. Diseño del experimento en la primera etapa de estudio.

Dónde: Y_{ij} : es la valor u observación de tanto para el rendimiento de mucilago (I etapa) como para los parámetros físico químicos (II etapa) en la i -ésima tratamiento y j -ésima repetición, considerando que α , β , y γ son los factores de estudio, y $(\alpha\beta)$, $(\alpha\gamma)$, $(\beta\gamma)$, $(\alpha\beta\gamma)$ son las interacciones de los factores, cuyo análisis de varianza correspondiente a un arreglo factorial completo se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Análisis de varianza para un arreglo factorial completo de 3 factores

F.V.	GL	SC	CM	F₀	p-valor
A	a-1	SC _A	CM _A	CM _A /CM _E	P(F>F ₀ ^A)
B	b-1	SC _B	CM _B	CM _B /CM _E	P(F>F ₀ ^B)
C	c-1	SC _C	CM _C	CM _C /CM _E	P(F>F ₀ ^C)
A*B	(a-1)(b-1)	SC _{AB}	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P(F>F ₀ ^{AB})
A*C	(a-1)(c-1)	SC _{AC}	CM _{AC}	CM _{AC} /CM _E	P(F>F ₀ ^{AC})
B*C	(b-1)(c-1)	SC _{BC}	CM _{BC}	CM _{BC} /CM _E	P(F>F ₀ ^{BC})
A*B*C	(a-1)(b-1)(c-1)	SC _{ABC}	CM _{ABC}	CM _{ABC} /CM _E	P(F>F ₀ ^{ABC})
error	abc*(n-1)	SC _E	CM _E		
Total	abcn-1	SC _T	CM _T		

Fuente: Montgomery, 2005.

3.3. Ubicación de la realización del experimento

Las pruebas experimentales y el tratamiento correspondiente del presente trabajo de investigación se realizaron en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua, con localización: Latitud: 17°11'25.48"S, Longitud: 70°56'9.81"O (Figura 5).

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población.

Las poblaciones en la primera etapa son los cladodios de opuntia y/o tuna obtenidos en el en el distrito de Moquegua. La población en la segunda etapa es el agua cruda obtenida en una captación elegida al azar.



Figura 5. Ubicación del Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial UNAM

Fuente: Google Earth, s.f.

Nota: Imagen tomada 25/01/2022

3.4.2. Muestra.

La muestra en la primera etapa corresponde a 30 kg de cladodio de opuntia y/o tuna.

La muestra en la segunda etapa corresponde a 41 litros de agua cruda a tratar.

3.5. Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.5.1. Técnica para la recolección de datos.

Observación directa: Se utilizará para el caso de observaciones en el laboratorio de donde se realizará la recolección de los datos.

Observación indirecta: Se utilizará para el caso de observaciones mediante laboratorio para el análisis.

3.5.2. Instrumentos para recolección de datos.

3.5.2.1. Primera etapa

Los cladodios de tuna fueron obtenidos es en centro Poblado de Los Ángeles que se ubica en el distrito de Moquegua, estas se extrajeron entre plantas cercanas, dejando cladodios para la recuperación de la planta, se transportaron en jabas de plástico envueltas en papel craft a fin de evitar daños, luego fueron transportados al Laboratorio de Biotecnología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua, donde se procedió a limpiarlas, retirando las espinas que se encontraban en el cladodio. Se procedió a lavar en una solución de hipoclorito de sodio 5 ppm, luego fueron peladas, la pulpa obtenida fue troceada y colocada en estufa Memmert modelo UN30 a 60 °C durante 72 horas, los trozos secos se trituraron en un molinillo Bosch modelo: TSM6A013B hasta obtener polvo fino que se embolsaron en bolsas de cierre hermético y conservaron a temperatura ambiente. Para la extracción se utilizó la metodología propuesta por Bayar et al. (2017) y Castañeda et al. (2019), los polvos finos de los cladodios obtenidos se mezclaron con agua en una relación 1:30, utilizando 10 g de polvo fino y 300 mL de agua colocados en un vaso de precipitado, esta solución fue sometida a ultrasonido de 20 KHz JP Selecta modelo CY-500 con sonda de 1/8 a potencia de 0, 50 y 100 % acoplado a un termo agitador magnético Thermo Scientific modelo Cimarec SP88854100 a temperatura de 40, 60 y 80 °C, y para regular el pH se utilizó ácido cítrico Merck hasta alcanzar pH de 5, 6 y 7 medido en un multiparametrico Thermo Scientific modelo Orion Versa Star. Luego se utilizó una centrifuga Centurion Scientific modelo K241R a 4000 rpm durante 15 minutos. Se retirará el sobrenadante y el extracto será mezclado con etanol Alkofarma 96 GL, en una relación de 1 a 1 para precipitar el mucilago durante 24 horas, el precipitado se secó en estufa Memmert modelo UN30 a 50 °C, para pesar

el mucilago extraído se utilizó una balanza analítica Sartorius modelo Entris 224I-1S (Figura 6), y los datos respuesta fueron tomados según la Tabla 5.

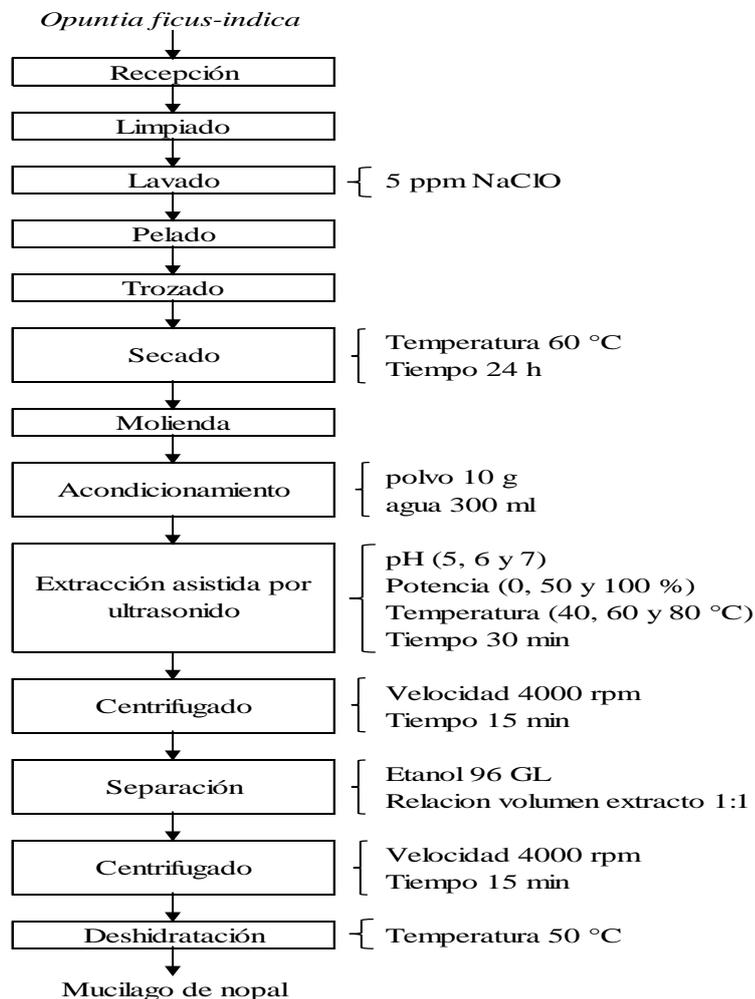


Figura 6. Diagrama de flujo de experimento en la I etapa

3.5.2.2. Segunda etapa

El agua para el tratamiento fue obtenida del río Osmore (latitud 17°11'11.07"S y longitud 70°56'18.45"O como referencia a metros de centro comercial Plaza Veá), siguiendo el protocolo de monitoreo de agua superficiales (MINAGRI, 2016), el agua obtenida fue transportada en botellas de 1 L al Laboratorio de Biotecnología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua. Para el tratamiento primario de agua se utilizó la metodología

propuesta por Tarón-Dunoyer et al. (2017), que consistió en utilizar vasos de precipitados a los cuales se vertió 1 L de agua obtenida del río Osmore, a las cuales se acondicionó el pH utilizando ácido cítrico Merck hasta un pH de 6,5 medido en un multiparamétrico Thermo Scientific modelo Orion Versa Star. Se adicionó el mucilago el cual fue medido en balanza analítica Sartorius modelo Entris 224I-1S 0, 5 y 10 g. Para la prueba del test de jarras se utilizó un floculador Lavibond modelo ET 740, programándose la velocidad de agitación de 20, 80 y 140 rpm como el tiempo de agitación 10, 40 y 70 min, luego de cada tratamiento se dejó reposar durante 60 min, y se determinó los parámetros fisicoquímicos (Figura 7). Para la turbidez se analizó por el método nefelométrico de acuerdo a la norma NMX-AA-038-SCFI-2001 en la que 10 ml de la muestra fue colocado en la porta muestra de turbidímetro LAMOTTE modelo 2020WE. La conductividad eléctrica se analizó por el método potenciométrico según la norma NMX-AA-093-SCFI-2000 utilizando un multiparamétrico Thermo Scientific modelo Orion Versa Star, introduciendo el electrodo en el vaso de precipitado. El pH se analizó con el método potenciométrico, de acuerdo a la norma NMX-AA-008-SCFI-2000, utilizando el multiparamétrico Thermo Scientific modelo Orion Versa Star introduciendo el electrodo en un vaso de precipitado.

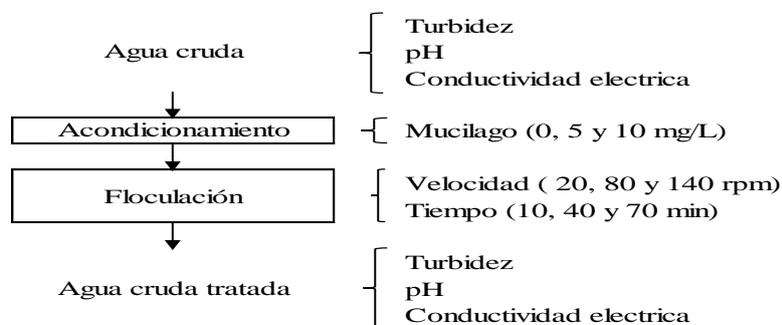


Figura 7. Diagrama de flujo de experimento en la I etapa

Los datos de la II etapa del experimento se tomaron de acuerdo a la Tabla 6, tomando en cuenta el pH, turbidez y conductividad eléctrica.

Tabla 5

Toma de datos en la I etapa

Tratamiento	Potencia de ultrasonido (%)	pH (pH)	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)
1	0	5	40	
2	0	5	60	
3	0	5	80	
4	0	6	40	
5	0	6	60	
6	0	6	80	
7	0	7	40	
8	0	7	60	
9	0	7	80	
10	50	5	40	
11	50	5	60	
12	50	5	80	
13	50	6	40	
14	50	6	60	
15	50	6	80	
16	50	7	40	
17	50	7	60	
18	50	7	80	
19	100	5	40	
20	100	5	60	
21	100	5	80	
22	100	6	40	
23	100	6	60	
24	100	6	80	
25	100	7	40	
26	100	7	60	
27	100	7	80	

Tabla 6*Toma de datos en la II etapa*

Tratamiento	Concentración (g/L)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo (min)	Turbidez (UNT)	pH	Conductividad eléctrica (μS/cm)
1	0	20	10			
2	0	20	40			
3	0	20	70			
4	0	80	10			
5	0	80	40			
6	0	80	70			
7	0	140	10			
8	0	140	40			
9	0	140	70			
10	5	20	10			
11	5	20	40			
12	5	20	70			
13	5	80	10			
14	5	80	40			
15	5	80	70			
16	5	140	10			
17	5	140	40			
18	5	140	70			
19	10	20	10			
20	10	20	40			
21	10	20	70			
22	10	80	10			
23	10	80	40			
24	10	80	70			
25	10	140	10			
26	10	140	40			
27	10	140	70			

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

De la etapa I, para la obtención del rendimiento porcentual de mucilago obtenido a partir de 5 g de polvos finos, se muestra los resultados obtenidos en el apéndice 2 y el análisis de varianza en la tabla 7, donde los factores potencia, pH y temperatura más sus interacciones, presentan diferencia estadística altamente significativa (p-valor $<0,0001$), por lo que se realizó la prueba de medias LSD Fisher tanto para los factores como para sus interacciones.

Tabla 7

Análisis de varianza para rendimiento porcentual

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37487,68	26	1441,83	345,43	$<0,0001$
Potencia	27629,13	2	13814,57	3309,63	$<0,0001$
pH	3448,62	2	1724,31	413,1	$<0,0001$
Temperatura	363,95	2	181,98	43,6	$<0,0001$
Potencia*pH	4026,13	4	1006,53	241,14	$<0,0001$
Potencia*Temperatura	492,16	4	123,04	29,48	$<0,0001$
pH*Temperatura	272,78	4	68,19	16,34	$<0,0001$
Potencia*pH*Temperatura	1254,91	8	156,86	37,58	$<0,0001$
Error	225,4	54	4,17		
Total	37713,08	80			

La tabla 8 muestra la prueba de medias LSD Fisher para la potencia del ultrasonido, en la que se observa que a 0 % de potencia el rendimiento de la extracción de mucilago alcanzo un 44%, en un 50% el porcentaje de rendimiento es de 34,46 % y a 100 % de potencia el porcentaje de rendimiento es de 0,94%.

Tabla 8

Prueba de medias LSD Fisher para potencia

Potencia %	Medias	n	E.E.	
0	44	27	0,39	a
50	34,46	27	0,39	b
100	0,94	27	0,39	c

La tabla 9 muestra la prueba de medias LSD Fisher para la pH, en la que se observa que a 5 pH el rendimiento de la extracción de mucilago alcanzo un 34,54%, en un 6 pH el porcentaje de rendimiento es de 26,3% y a 7 pH el porcentaje de rendimiento es de 18,56%.

Tabla 9

Prueba de medias LSD Fisher para pH

pH	Medias	n	E.E.	
5	34,54	27	0,39	a
6	26,3	27	0,39	b
7	18,56	27	0,39	c

La tabla 10 muestra la prueba de medias LSD Fisher para la temperatura, en la que se observa que a 80°C el rendimiento de la extracción de mucilago alcanzo un 28,76%, en 40°C el porcentaje de rendimiento es de 27% y a 60°C el porcentaje de rendimiento es de 23,65%.

Tabla 10*Prueba de medias LSD Fisher para temperatura*

Temperatura (°C)	Medias	n	E.E.	
80	28,76	27	0,39	a
40	27	27	0,39	b
60	23,65	27	0,39	c

La tabla 11 muestra la prueba de medias LSD Fisher para la interacción de factores potencia * pH, donde el mayor rendimiento porcentual se presentó a una potencia de 50 y un pH de 5, obteniéndose un rendimiento de 56,5% cuyo resultado es diferente a todos los demás tratamientos, el menor valor se obtuvo a una potencia de 100 independientemente del pH, cuyos valores de rendimiento fueron de 1,65 a 0.14%

Tabla 11*Prueba de medias LSD Fisher para potencia * pH*

Potencia (%)	pH	Medias	n	E.E.	
50	5	56,05	9	0,68	a
0	6	48,73	9	0,68	b
0	5	45,92	9	0,68	c
0	7	37,36	9	0,68	d
50	6	29,15	9	0,68	e
50	7	18,19	9	0,68	f
100	5	1,65	9	0,68	g
100	6	1,03	9	0,68	g
100	7	0,14	9	0,68	g

La tabla 12 muestra la prueba de medias LSD Fisher para la interacción de factores potencia * temperatura, donde el mayor rendimiento porcentual se presentó a una potencia de 0 y un y una temperatura de 80°C, obteniéndose un rendimiento de 51,2% cuyo resultado es diferente a todos los demás tratamientos, el menor valor se obtuvo a una potencia de 100 con temperaturas de 80 y 60°C, cuyos valores de rendimiento fueron de 0%

Tabla 12*Prueba de medias LSD Fisher para potencia * temperatura*

Potencia (%)	Temperatura °C	Medias	n	E.E.	
0	80	51,02	9	0,68	a
0	40	41,61	9	0,68	b
0	60	39,38	9	0,68	c
50	40	36,58	9	0,68	d
50	80	35,25	9	0,68	d
50	60	31,56	9	0,68	e
100	40	2,81	9	0,68	f
100	80	0	9	0,68	fg
100	60	0	9	0,68	fg

La tabla 13 muestra la prueba de medias LSD Fisher para la interacción de factores pH * temperatura, donde el mayor rendimiento porcentual se presentó a un pH de 5 y temperatura de 40, 60 y 80°C, obteniéndose un rendimiento entre 34,83 a 34,32% cuyos resultados son diferentes a todos los demás tratamientos, el menor valor se obtuvo a pH 7 y temperatura de 60°C, cuyo valor de rendimiento fue de 12,7%.

Tabla 13*Prueba de medias LSD Fisher para pH * temperatura*

pH	Temperatura (°C)	Medias	n	E.E.	
5	40	34,83	9	0,68	a
5	60	34,47	9	0,68	a
5	80	34,32	9	0,68	a
6	80	28,49	9	0,68	b
6	40	26,66	9	0,68	b
6	60	23,76	9	0,68	c
7	80	23,47	9	0,68	c
7	40	19,51	9	0,68	d
7	60	12,7	9	0,68	e

La tabla 14 muestra la prueba de medias LSD Fisher para la interacción de factores potencia * pH * temperatura, donde el mayor rendimiento porcentual se presentó a una potencia de 50, pH de 5 y temperatura de 60°C con un rendimiento de 56,77% y son estadísticamente iguales a potencia 50 con pH 5 y temperatura de 60 °C con rendimiento de 56,77%, potencia 50 pH 5 temperatura 80 con

rendimiento de 56,73%, potencia 0 pH 7 temperatura 80 con rendimiento de 56,17% potencia 50 pH 5 temperatura 40 con rendimiento de 54,65%. El menor rendimiento se obtuvo utilizando una potencia de 100 y todas las combinaciones de pH y temperatura con valores de rendimiento entre 4,94% a 0%

Tabla 14

*Prueba de medias LSD Fisher para potencia * pH * temperatura*

Potencia (%)	pH	Temperatura (°C)	Medias	n	E.E.	
50	5	60	56,77	3	1,18	a
50	5	80	56,73	3	1,18	a
0	7	80	56,17	3	1,18	a
50	5	40	54,65	3	1,18	a
0	6	80	50,67	3	1,18	b
0	6	60	49,75	3	1,18	bc
0	5	60	46,64	3	1,18	cd
0	5	80	46,22	3	1,18	d
0	6	40	45,77	3	1,18	d
0	5	40	44,91	3	1,18	d
50	6	80	34,79	3	1,18	e
0	7	40	34,16	3	1,18	ef
50	6	40	31,13	3	1,18	f
50	7	40	23,95	3	1,18	g
0	7	60	21,74	3	1,18	g
50	6	60	21,54	3	1,18	g
50	7	60	16,37	3	1,18	h
50	7	80	14,23	3	1,18	h
100	5	40	4,94	3	1,18	i
100	6	40	3,08	3	1,18	i j
100	7	40	0,41	3	1,18	j
100	5	80	0	3	1,18	j
100	5	60	0	3	1,18	j
100	7	60	0	3	1,18	j
100	7	80	0	3	1,18	j
100	6	80	0	3	1,18	j
100	6	60	0	3	1,18	j

De la etapa II, con respecto al tratamiento primario del agua obtenida en el río Osmore, se realizaron diferentes evaluaciones tanto a los parámetros de pH, turbidez y conductividad eléctrica.

La tabla 15 muestra el análisis de varianza para pH considerando los factores de concentración de mucilago, velocidad de agitación y tiempo, los resultados obtenidos se muestran en el apéndice 3, el p-valor <0,05 presenta diferencia estadística significativa, y el p-valor <0,01 presenta diferencia estadística altamente significativa. Donde la concentración, concentración * velocidad, velocidad * tiempo y concentración * velocidad * tiempo, presentan diferencia altamente significativa, por lo que se realizó la prueba de medias LSD Fisher tanto para los factores como para sus interacciones.

Tabla 15

Análisis de varianza para pH

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,96	26	0,23	392,05	<0,0001
Concentración	5,9	2	2,95	5043,7	<0,0001
Velocidad	5,40E-04	2	2,70E-04	0,46	0,6351
Tiempo	1,50E-03	2	7,50E-04	1,27	0,2879
Concentración*Velocidad	0,02	4	0,01	9,55	<0,0001
Concentración*Tiempo	7,60E-04	4	1,90E-04	0,32	0,8601
Velocidad*Tiempo	0,01	4	2,70E-03	4,61	0,0028
Concentración*Velocidad*Ti.,	0,03	8	3,20E-03	5,55	<0,0001
Error	0,03	54	5,90E-04		
Total	6	80			

La tabla 16 muestra que a mayor concentración (10 g/L) el valor de pH se incrementa a 7,52, y es diferente a las concentraciones de 5 g/L y de 0 g/L, además de que todos son diferentes entre sí, además que a 0 g/L no altera el pH del agua a tratar, y se considera como patrón de análisis.

Tabla 16

Prueba de medias LSD Fisher de concentración para pH

Concentración (g/l)	Medias	n	E.E.	
10	7,52	27	4,70E-03	a
5	7,21	27	4,70E-03	b
0	6,86	27	4,70E-03	c

La tabla 17 muestra la interacción de concentración * velocidad, para el análisis de pH, donde se muestra que a mayor concentración (10 g/L) y a una velocidad de 140 rpm el pH alcanzo 7,54, y es diferente estadísticamente al resto de interacciones, a concentración de 10 g/L con velocidades de 20 y 80 rpm estadísticamente son iguales con valor de pH comprendido entre 7,5 y 7,51 respectivamente, y los menores valores de pH se presentaron a 0 g/L sin importar la velocidad de agitación.

Tabla 17

*Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad para pH*

Concentración (g/l)	Velocidad (rpm)	Medias	n	E.E.	
10	140	7,54	9	0,01	a
10	80	7,51	9	0,01	b
10	20	7,5	9	0,01	b
5	140	7,21	9	0,01	c
5	80	7,21	9	0,01	c
5	20	7,21	9	0,01	c
0	80	6,88	9	0,01	d
0	20	6,87	9	0,01	d
0	140	6,82	9	0,01	e

La tabla 18 muestra la interacción de velocidad * tiempo, para el análisis de pH, donde se muestra que, a velocidades de 20, 80 y 140 rpm con tiempo de 10 y 70 el valor de pH se encuentra entre 7, 2 y 7,22 respectivamente, siendo iguales entre sí y es diferente estadísticamente al resto de interacciones, al ser una interacción de operación varias interacciones muestran que estadísticamente son iguales entre si.

La tabla 19 muestra la interacción de concentración * velocidad * tiempo, para el análisis de pH, muestra que, a concentración de 10 g/L, velocidad de 140 rpm y tiempo 10 min el pH es de 7,59 siendo el mayor y diferente estadísticamente con el resto de interacciones, además se observa que, a concentración de 10 g/L a diferentes velocidades y tiempos, estos no influyen y son estadísticamente iguales

entre sí. Los menores valores de pH se muestran cuando la concentración de mucilago es de 0 g/L

Tabla 18

*Prueba de medias LSD Fisher de velocidad * tiempo para pH*

Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.	
80	10	7,22	9	0,01	a
20	70	7,21	9	0,01	ab
140	10	7,2	9	0,01	abc
20	40	7,2	9	0,01	bc
140	70	7,19	9	0,01	bc
80	40	7,19	9	0,01	bc
80	70	7,19	9	0,01	c
140	40	7,18	9	0,01	c
20	10	7,18	9	0,01	c

Tabla 19

*Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad * tiempo para pH*

Concentración (g/l)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.	
10	140	10	7,59	3	0,01	a
10	140	70	7,54	3	0,01	b
10	80	40	7,53	3	0,01	b
10	20	70	7,53	3	0,01	bc
10	80	10	7,52	3	0,01	bcd
10	20	40	7,51	3	0,01	bcde
10	140	40	7,49	3	0,01	cde
10	80	70	7,48	3	0,01	de
10	20	10	7,48	3	0,01	e
5	20	70	7,22	3	0,01	f
5	80	70	7,22	3	0,01	f
5	80	10	7,22	3	0,01	f
5	140	40	7,22	3	0,01	f
5	140	10	7,22	3	0,01	f
5	20	40	7,21	3	0,01	f
5	140	70	7,2	3	0,01	f
5	20	10	7,19	3	0,01	f
5	80	40	7,19	3	0,01	f
0	80	10	6,92	3	0,01	g
0	20	70	6,89	3	0,01	gh
0	20	10	6,87	3	0,01	hi
0	20	40	6,86	3	0,01	hi
0	80	70	6,86	3	0,01	hi
0	80	40	6,85	3	0,01	hi
0	140	40	6,84	3	0,01	i
0	140	70	6,83	3	0,01	ij
0	140	10	6,8	3	0,01	j

La tabla 20 muestra el análisis de varianza para turbidez considerando los factores de concentración de mucilago, velocidad de agitación y tiempo, los resultados obtenidos se muestran en el apéndice 4, el p-valor <0,01 presenta diferencia estadística altamente significativa. Donde los factores concentración, velocidad, tiempo y las interacciones entre ellas presentan diferencia altamente significativa, por lo que se realizó la prueba de medias LSD Fisher tanto para los factores como para sus interacciones.

Tabla 20

Análisis de varianza para turbidez

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45827,43	26	1762,59	144,94	<0,0001
Concentración	36396,91	2	18198,46	1496,52	<0,0001
Velocidad	507,58	2	253,79	20,87	<0,0001
Tiempo	4161,21	2	2080,6	171,1	<0,0001
Concentración*Velocidad	650,27	4	162,57	13,37	<0,0001
Concentración*Tiempo	3357,75	4	839,44	69,03	<0,0001
Velocidad*Tiempo	322,64	4	80,66	6,63	0,0002
Concentración*Velocidad*Tiempo	431,06	8	53,88	4,43	0,0004

La tabla 21 muestra que a una concentración de 5 g/L se logró reducir la turbidez hasta 58,78 UNT, además que esta es estadísticamente diferente al resto, considerando que el no uso de mucilago como floculante (concentración 0g/L) presenta una turbidez de 108,5 UNT, el uso de mucilago logro reducir la turbidez tanto en 10 g/L como en 5 g/L, siendo este último el más adecuado.

Tabla 21

Prueba de medias LSD Fisher de concentración para turbidez

Concentración (g/l)	Medias	n	E.E.	
5	58,78	27	0,67	a
10	71	27	0,67	b
0	108,59	27	0,67	c

La tabla 22 muestra que a menor velocidad de agitación (20 rpm) la turbidez es de 82,93 UNT, siendo esta estadísticamente diferente a las velocidades de 80 y 140 rpm, pero la turbidez alcanzada a estas velocidades es estadísticamente es igual entre si obteniéndose 78,33 y 77, 11 UNT respectivamente.

Tabla 22

Prueba de medias LSD Fisher de velocidad para turbidez

Velocidad (rpm)	Medias	n	E.E.	
140	77,11	27	0,67	a
80	78,33	27	0,67	a
20	82,93	27	0,67	b

La tabla 23 muestra que en un tiempo de agitación de 10 min la turbidez presento el mayor valor 89,59 UNT, siendo esta estadísticamente diferente a los tiempos de 70 y 40 min, pero la turbidez alcanzada a estas velocidades es estadísticamente es igual entre si obteniéndose 74,48 y 74,3 UNT respectivamente, además de que a un tiempo de 40 min la turbidez alcanzo el menor valor.

Tabla 23

Prueba de medias LSD Fisher de tiempo para turbidez

Tiempo (min)	Medias	n	E.E.	
40	74,3	27	0,67	a
70	74,48	27	0,67	a
10	89,59	27	0,67	b

La tabla 24 muestra la interacción entre la concentración * velocidad, donde los menores valores corresponde a la concentración de 5 g/L tanto a velocidades de 20, 80 y 140 rpm con valores comprendidos entre 61,44 a 53,44 UNT, siendo este último el menor valor alcanzado y diferente estadísticamente al resto de interacciones.

Tabla 24*Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad para turbidez*

Concentración (g/l)	Velocidad (rpm)	Medias	n	E.E.	
5	140	54,33	9	1,16	a
5	80	60,56	9	1,16	b
5	20	61,44	9	1,16	b
10	80	65,89	9	1,16	c
10	140	68,11	9	1,16	c
10	20	79	9	1,16	d
0	20	108,33	9	1,16	e
0	80	108,56	9	1,16	e
0	140	108,89	9	1,16	e

La tabla 25 muestra la interacción entre la concentración * tiempo, donde los menores valores corresponde a la concentración de 5 g/L tanto a velocidades de 40 y 70 min con valores comprendidos entre 49,78 a 46,67 UNT respectivamente, que estadísticamente son iguales entre sí y diferentes con el resto de interacciones, y el menor valor se alcanzó a concentración de 5 g/L con un tiempo de 70 min.

Tabla 25*Prueba de medias LSD Fisher de concentración * tiempo para turbidez*

Concentración (g/l)	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.	
5	70	46,67	9	1,16	a
5	40	49,78	9	1,16	a
10	40	64,56	9	1,16	b
10	70	67,22	9	1,16	b
5	10	79,89	9	1,16	c
10	10	81,22	9	1,16	c
0	10	107,67	9	1,16	d
0	40	108,56	9	1,16	d
0	70	109,56	9	1,16	d

La tabla 26 muestra la interacción entre la velocidad * tiempo, donde los menores valores corresponde a 80 y 140 rpm con 70 y 40 min, obteniéndose valores comprendidos entre 74,44 a 72 UNT, todos ellos estadísticamente iguales entre sí, además que el menor valor con 72 UNT se alcanzó a velocidad de 80 rpm y tiempo de 40 min.

Tabla 26*Prueba de medias LSD Fisher de velocidad * tiempo para turbidez*

Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.	
80	40	72	9	1,16	a
80	70	72,78	9	1,16	a
140	40	73,56	9	1,16	ab
140	70	74,44	9	1,16	abc
20	70	76,22	9	1,16	bc
20	40	77,33	9	1,16	c
140	10	83,33	9	1,16	d
80	10	90,22	9	1,16	e
20	10	95,22	9	1,16	f

La tabla 27 muestra la interacción entre la concentración * velocidad * tiempo para turbidez, donde el uso de una concentración de 5 g/L con velocidades de 20, 80 y 140 rpm y tiempo de 40 y 70 min obtuvieron los menores valores de turbidez comprendido entre 51,33 a 44,33 UNT, además de que, a un tiempo de 10 min no muestra resultados adecuados, el menor valor de turbidez se presentó a concentración de 5 g/L, velocidad de 20 rpm y tiempo de 70 min obteniéndose 44,33 UNT.

La tabla 28 muestra el análisis de varianza para conductividad eléctrica considerando los factores de concentración de mucilago, velocidad de agitación y tiempo, los resultados obtenidos se muestran en el apéndice 5, el p-valor <0,05 presenta diferencia estadística significativa y con p-valor <0,01 presenta diferencia estadística altamente significativa. Las interacciones concentración * tiempo (p-valor 0,0131), y concentración * velocidad * tiempo (p-valor 0,0423) presentan diferencia estadística significativa. El factor concentración (p-valor <0,0001) presenta diferencia estadística altamente significativa, por lo que se realizó la prueba de medias LSD Fisher tanto para los factores como para sus interacciones.

Tabla 27*Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad * tiempo para turbidez*

Concentración (g/l)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.	
5	20	70	44,33	3	2,01	a
5	140	70	45	3	2,01	ab
5	140	40	47,67	3	2,01	abc
5	20	40	50,33	3	2,01	bcd
5	80	70	50,67	3	2,01	bcd
5	80	40	51,33	3	2,01	cd
10	80	40	55,33	3	2,01	de
10	80	70	59,67	3	2,01	ef
10	140	40	63,33	3	2,01	fg
10	140	70	67,33	3	2,01	gh
5	140	10	70,33	3	2,01	hi
10	140	10	73,67	3	2,01	i
10	20	70	74,67	3	2,01	ij
10	20	40	75	3	2,01	ij
5	80	10	79,67	3	2,01	jk
10	80	10	82,67	3	2,01	kl
10	20	10	87,33	3	2,01	lm
5	20	10	89,67	3	2,01	m
0	140	10	106	3	2,01	n
0	20	40	106,67	3	2,01	n
0	80	70	108	3	2,01	n
0	80	10	108,33	3	2,01	n
0	20	10	108,67	3	2,01	n
0	80	40	109,33	3	2,01	n
0	140	40	109,67	3	2,01	n
0	20	70	109,67	3	2,01	n
0	140	70	111	3	2,01	n

Tabla 28*Análisis de varianza para conductividad eléctrica*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9310428	26	358093,38	2363,94	<0,0001
Concentración	9303464	2	4651732	30708,26	<0,0001
Velocidad	561,56	2	280,78	1,85	0,1665
Tiempo	374,3	2	187,15	1,24	0,2988
Concentración*Velocidad	554,89	4	138,72	0,92	0,4615
Concentración*Tiempo	2117,93	4	529,48	3,5	0,0131
Velocidad*Tiempo	697,93	4	174,48	1,15	0,3423
Concentración*Velocidad*Tiempo	2657,41	8	332,18	2,19	0,0423
Error	8180	54	151,48		
Total	9318608	80			

La tabla 29 muestra que, a mayor concentración la conductividad eléctrica se ve reducida, el menor valor se presentó a concentración de 10 g/L donde se obtuvo 533,56 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo estadísticamente diferente a las demás concentraciones.

Tabla 29

Prueba de medias LSD Fisher de concentración para conductividad eléctrica

Concentración (g/l)	Medias	n	E.E.	
10	533,56	27	2,37	a
5	827,56	27	2,37	b
0	1352,89	27	2,37	c

La tabla 30 muestra la interacción entre concentración * tiempo, don la concentración de 10 g/L independientemente del tiempo (10, 40 y 70 min) muestra los menores valores comprendidos entre 543,11 a 521 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el menos valor se presentó a concentración 10g/L y tiempo de 70 min obteniéndose un valor de 521 $\mu\text{S}/\text{cm}$, además que este es diferente estadísticamente al resto de interacciones.

Tabla 30

*Prueba de medias LSD Fisher de concentración * tiempo para conductividad eléctrica*

Concentración (g/l)	Tiempo (min)	Medias	n	E,E,	
10	70	521,44	9	4,1	a
10	10	536,11	9	4,1	b
10	40	543,11	9	4,1	b
5	40	823,11	9	4,1	c
5	10	828,78	9	4,1	c
5	70	830,78	9	4,1	c
0	10	1352,33	9	4,1	d
0	70	1352,78	9	4,1	d
0	40	1353,56	9	4,1	d

La tabla 31 muestra la interacción entre la concentración * velocidad * tiempo para la conductividad eléctrica, donde el uso de una concentración de 10 g/L con velocidades de 20, 80 y 140 rpm y tiempo de 40 y 70 min obtuvieron los menores valores de conductividad eléctrica comprendido entre 553,33 a 512 $\mu\text{S}/\text{cm}$,

además de que, el menor valor se obtuvo a concentración de 10 g/L, velocidad 80 rpm y tiempo de 70 min obteniéndose 512 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estadísticamente es igual a la interacción de concentración 10 g/L, velocidades de 20, 80 y 140 y tiempo de 70 min, y estos son estadísticamente diferentes al resto de interacciones. El valor con concentración de 0 g/L estuvo entre 1361,64 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 31

*Prueba de medias LSD Fisher de concentración * velocidad * tiempo para conductividad eléctrica*

Concentración (g/l)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Medias	n	E.E.	
10	20	10	512	3	7,11	a
10	80	70	512	3	7,11	a
10	140	70	524	3	7,11	ab
10	20	70	528,33	3	7,11	abc
10	140	40	537,33	3	7,11	bcd
10	20	40	538,67	3	7,11	bcd
10	80	10	546,33	3	7,11	cd
10	140	10	550	3	7,11	d
10	80	40	553,33	3	7,11	d
5	80	40	822	3	7,11	e
5	20	40	823	3	7,11	e
5	140	40	824,33	3	7,11	e
5	20	70	824,33	3	7,11	e
5	20	10	825,33	3	7,11	e
5	80	10	827	3	7,11	e
5	80	70	831	3	7,11	e
5	140	10	834	3	7,11	e
5	140	70	837	3	7,11	e
0	140	10	1347,33	3	7,11	f
0	80	70	1347,67	3	7,11	f
0	80	40	1348,33	3	7,11	f
0	20	40	1350,67	3	7,11	f
0	80	10	1353	3	7,11	f
0	20	70	1354,67	3	7,11	f
0	140	70	1356	3	7,11	f
0	20	10	1356,67	3	7,11	f
0	140	40	1361,67	3	7,11	f

4.2. Contraste de hipótesis

Para la I etapa en la que se utilizó la extracción asistida por ultrasonido, donde los factores potencia, pH y temperatura, según la tabla 7 se demuestra que existe diferencia en uno de los tratamientos, por lo que se rechaza la H_0 y se acepta la H_a en la que los factores influyen en la extracción de mucilago de nopal.

Para la etapa II en la que se realizó el tratamiento de agua obtenida en el rio Osmore, donde se utilizó factores como concentración, velocidad y tiempo, se demuestra que: según la tabla 15 para la evaluación de pH, tabla 20 para la evaluación de turbidez y tabla 28 para la evaluación de conductividad eléctrica, se demuestra que existe diferencia en uno de los tratamientos, por lo que se rechaza la H_0 y se acepta la H_a en la que los factores influyen en el tratamiento de agua.

4.3. Discusión de resultados

Para el rendimiento de mucilago, el mayor porcentaje de extracción se dio a un potencia 50%, pH 5 y temperatura de 80°C con 56,78 %, a potencia de 50 %, pH de 5 y temperaturas de 40, 60 y 80 °C, las extracciones porcentuales fueron de 56,77 a 54,65 %, por lo que se demuestra que las extracciones de mucilago ocurre en medio ácido, además que a potencia 0% pH de 7 y temperatura de 80 °C la extracción fue de 56,17%, todos estos resultados son estadísticamente iguales entre si (Apéndice 2), cabe mencionar que a 0% de potencia no significa que el equipo no se haya encendido emitiéndose la frecuencia de 20 KHz a baja potencia durante los 30 min , estos resultados se asemeja al reportado por García (2017) en la que obtuvo un rendimiento de 59,6 % donde el trabajo realizado extrajo mucilago por vía húmeda además que utilizo secado por atomización a temperatura de 166,4 °C

pero no aplico la extracción asistida por ultrasonido. Hernández et al. (2019) en su trabajo reporto utilizo la extracción asistida por ultrasonido y obtuvo un rendimiento de $41.8 \pm 1.8\%$ a una amplitud de potencia de 30% por 10 min a 40 °C. Bayar et al. (2017) tiempo de sonicación 70 min. Silva (2017) en su trabajo reporto un rendimiento de 39 % considerando que la extracción se realizó utilizando vía húmeda (maceración) con una relación agua: penca, temperatura y tiempo son 3:1, 80°C y 2 h respectivamente, por lo que el uso de la extracción asistida por ultrasonido puede elevar el rendimiento de mucilago. En otras matrices la extracción de mucilago presenta buenos resultados como de Castañeda et al. (2019) en la que utilizo linaza *Linum usitatissimum* como matriz obteniendo 9,73 % de mucilago donde para la extracción asistida por ultrasonido extracción utilizo temperatura de 85 a 90 °C, tiempo de 4,5 a 5,0 h, pH 7,0 y relación semilla: agua de 1:20. La efectividad de la extracción está relacionada directamente a la destrucción de la matriz puesto que el mucilago sólo está presente en el Aparato de Golgi, y la síntesis del mucilago ocurre probablemente en ello y en las vesículas. Estos polisacáridos al disolverse en el agua forman coloides y suspensiones muy viscosas (Sepúlveda et al., 2007), por lo que, de acuerdo al método de extracción y los parámetros que se utilizaran, influirán directamente en el rendimiento del mucilago (Castañeda et al., 2019).

De tratamiento de agua, los resultados para pH obtenidos (Apéndice 3) el valor mínimo es de 6,78 pH (patrón) y el mayor valor obtenido es de 7,6 pH, los valores recomendados por el reglamento de calidad de agua para consumo del Perú vigente es 6,5 a 8,5 pH (MINSA, 2010), el uso de mucilago como floculante no genera cambios significativos en el pH con respecto a la normatividad, según los

estudios, Rachdi et al. (2017) presenta que al tener un pH inicial de 7,54 y utilizando 1 g/L de mucilago el pH se redujo a 6,95 pH. Patale & Pandya (2012) muestra que iniciando a diferentes niveles de turbidez y aplicando mucilago como floculante el pH se ve disminuido, pero en algunos casos el pH es incrementado, según Olivero et al. (2013) en la que inicio con un pH de 5,99 y alcanzo un pH de 6,97 pH, Choque-Quispe et al. (2018) inicio con un pH de 6,61 y alcanzo un pH de 7,54. Ello puede ser debido a que en la extracción asistida por ultrasonido algunos compuestos son destruidos (ácidos orgánicos, hidrocoloides, etc.) ello debido a la cavitación en la que se alcanzan altas temperatura y puede generar destrucción de algunos compuestos.

De tratamiento de agua, los resultados para turbidez obtenidos (Apéndice 4) el valor inicial es de 116 UNT (patrón) y el menor valor obtenido es de 38 UNT, los valores recomendados por el reglamento de calidad de agua para consumo del Perú vigente es 5 UNT (MINSa, 2010) por lo que se deberían buscar parámetros adecuados a fin de poder alcanzar lo recomendado por la normatividad. Olivero et al. (2013) en su tratamiento realizado inicio con una turbidez 276 UNT y con una adición de 40 mg/L y 200 rpm alcanzo una turbidez de 19,76 UNT, Patale & Pandya (2012) en su tratamiento realizado inicio con una turbidez 100 UNT y con una adición de 0,4 mg/L a 180 rpm y 5 horas alcanzo una turbidez de 26 UNT, Rachdi et al. (2017) en su tratamiento realizado inicio con una turbidez 296,33 UNT y con una adición de 1 g/L a 100 rpm y 30 min alcanzo una turbidez de 21 UNT. De acuerdo a estos resultados considerando que el mucilago está compuesto de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico (Sepúlveda et

al., 2007), el contenido de estos puede generar variaciones de los resultados obtenidos.

De tratamiento de agua, los resultados para conductividad eléctrica obtenidos (Apéndice 4) el valor inicial es de 1368 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (patrón) y el menor valor obtenido es de 452 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los valores recomendados por el reglamento de calidad de agua para consumo del Perú vigente es 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MINSa, 2010) el uso de mucilago como floculante no genera cambios significativos en la conductividad eléctrica con respecto a la normatividad, según los estudios: Olivero et al. (2013) en su tratamiento realizado inicio con una conductividad eléctrica de 151,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y con una adición de 40 mg/L y 200 rpm alcanzo una conductividad eléctrica de 76,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Rachdi et al. (2017) en su tratamiento realizado inicio con una conductividad eléctrica 3562,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y con una adición de 1 g/L a 100 rpm y 30 min alcanzo una conductividad eléctrica de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Silva (2017) en el tratamiento realizado inicio con conductividad eléctrica 579 y con una turbidez inicial de 1000 UTN y 50 ppm de adición de mucilago alcanzo una conductividad eléctrica de 493 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De acuerdo a estos resultados considerando que el mucilago que está compuesto de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico (Sepúlveda et al., 2007), y diferentes minerales como K, Fe, Ca y Na (Guzmán & Chávez, 2007) el contenido de estos puede generar variaciones de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Para el rendimiento de mucilago, donde los factores potencia, pH y temperatura más sus interacciones, presentan diferencia estadística altamente significativa (p-valor $<0,0001$) y el mayor porcentaje de extracción se dio en el tratamiento cuyo factores y niveles fueron potencia 50%, pH 5 y temperatura de 80°C con 56,78 % de rendimiento de extracción de mucilago.

Segunda. Para pH de los factores utilizados existe diferencia estadística significativa, y el p-valor $<0,01$ para la concentración, concentración * velocidad, velocidad * tiempo y concentración * velocidad * tiempo, el pH inicial el valor fue de 6,78 pH, para los factores concentración 10 g/L, velocidad 140 rpm y tiempo 10 min el pH resultante fue de 7,59 pH. Para la conductividad eléctrica presenta de los factores utilizados existe diferencia estadística significativa, las interacciones concentración * tiempo (p-valor 0,0131), y concentración * velocidad * tiempo

(p-valor 0,0423) presentan diferencia estadística significativa. El factor concentración (p-valor <0,0001) presenta diferencia estadística altamente significativa, y el menor valor obtenido se presentó en el factor y nivel concentración 10 g/L, velocidad 80 rpm y tiempo 70 min es de 512 μ S/cm. De la turbidez considerando los factores de concentración de mucilago, velocidad de agitación y tiempo, los resultados obtenidos se muestran un p-valor <0,01 presentando diferencia estadística altamente significativa en todos los factores e interacciones, el menor valore de turbidez se presentó a concentración 5 g/L, velocidad 20 rpm y tiempo 70 min es de 44,33 UTN.

Tercera. De los resultados obtenidos la extracción asistida por ultrasonido es una alternativa para incrementar el rendimiento de obtención de mucilago como agente floculante, y de su uso tanto el pH y la conductividad eléctrica se encuentran dentro de lo recomendado por el por el reglamento de calidad de agua para consumo del Perú, pero la turbidez en la que el reglamento menciona < 5 UNT, no se a alcanzado el valor recomendable

5.2. Recomendaciones

Primera. Evaluar otros parámetros de extracción de mucilago como son tamaño de partícula, relación muestra: agua, además de optimizar los parámetros de extracción a fin de mejorar los resultados y proponer parámetros adecuados

Segunda. De los resultados mostrados varios parámetros cumplen con lo dispuesto por el reglamento de calidad de agua de consumo, pero el de turbidez aun no, por lo que se debe buscar alternativas ya sea en mezcla con un floculante sintético o mejorar la etapa de sedimentación anterior a la etapa de floculación

Tercera. Evaluar la composición del mucilago obtenido además de otras propiedades como viscosidad, potencial de estabilidad z, que ayudaran a proponer de mejor manera el tratamiento de floculación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrenechea, A., Cánepa, L., Maldonado, V., Barrenechea, A., & Aurazo, M. (2004). Coagulación. In *Tratamiento de agua para consumo humano* (pp. 153–224). CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - OPS, Organización Panamericana de la Salud -. <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMO1/seis.pdf%25>
- Bayar, N., Bouallegue, T., Achour, M., Kriaa, M., Bougatef, A., & Kammoun, R. (2017). Ultrasonic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal: Optimization of experimental conditions and evaluation of chemical and functional properties. *Food Chemistry*, 235, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.029>
- Bouatay, F., & Mhenni, F. (2014). Use of the Cactus Cladodes Mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) As an Eco-Friendly Flocculants: Process Development and Optimization using Stastical Analysis. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1295–1308.
- Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). Estudio Del Proceso De Coagulación-Floculación De Aguas Residuales De La Empresa Textil “Desembarco Del Granma” a Escala De Laboratorio. *Tecnología Química*, XXIX(3), 64–73. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2009.3>.
- Castañeda, A. P., Zavaleta, N. E., & Siche, R. (2019). Optimization of the extraction process of *Linum usitatissimum* mucilage using a sequential design.

Scientia Agropecuaria, 10(1), 19–28.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.02>

Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008&lng=es&tlng=es.

Derjaguin, V. (1987). Theory of Stability of lyophobic colloids. *The Journal of Physical and Colloid Chemistry*, 51(3), 631-636. DOI 10.1021/j150453a001

Fabre, J. F., Lacroux, E., Valentin, R., & Mouloungui, Z. (2015). Ultrasonication as a highly efficient method of flaxseed mucilage extraction. *Industrial Crops and Products*, 65, 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.015>

Fernández, A. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe, España, 11*, 147–170. <http://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Flórez, J. M. C. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxiclورو de aluminio. *DYNA (Colombia)*, 78(165), 18–27.

García, N. (2017). *Optimización de la extracción acuosa y secado del biopolímero de nopal (Opuntia ficus-indica)*. Universidad de Chile.

- Guevara, M. L., & Gutiérrez, N. (2014). Optimización de la extracción de mucilago de nopal (*Opuntia spp.*) mediante la aplicación de ultrasonido de alta potencia. In *Facultad de Ciencias Químicas* (Vol. 3). http://www.researchgate.net/publication/258644061_Libro_de_Actas_del_V_Foro_Iberomericano_de_los_Recursos_Marinos_y_la_Acuicultura/file/3deec528c8c45982e7.pdf
- Gurdián, R., & Coto, J. M. (2003). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista Tecnología En Marcha*, 24(2), 18-26. Recuperado de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/138
- Guzman, Loayza, D., & Chavez, J. (2007). CHEMICAL COMPOSITIONAL STUDY OF NOPAL (*Opuntia ficusindica*) CLADOPHYLL FOR HUMAN CONSUMPTION. *Rev Soc Quim Perú*, 73(1), 41–45.
- Guzmán, D., & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladiolo del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 73 N° 1, 41–45.
- Hernández, P., Rivadeneyra, M., Ramos, M. E., Aparicio, X., Navarro, A. R., Ávila, R., & Ochoa, C. E. (2019). Characterization of red prickly pear peel (*Opuntia ficus-indica* L.) and its mucilage obtained by traditional and novel methodologies. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2), 1111–1119. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-00026-y>
- Jiang, J. Q. (2015). The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in*

Chemical Engineering, 8, 36–44.
<https://doi.org/10.1016/j.coche.2015.01.008>

Lee, K. E., Morad, N., Teng, T. T., & Poh, B. T. (2012). Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review. *Chemical Engineering Journal*, 203, 370–386. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.109>

Majdoub, H., Roudesli, S., Picton, L., Le Cerf, D., Muller, G., & Grisel, M. (2001). Prickly pear nopals pectin from *Opuntia ficus-indica* physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions. *Carbohydrate Polymers*, 46(1), 69–79. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00284-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00284-8)

McCurdy, K., Carlson, K., & Gregory, D. (2004). Floc morphology and cyclic shearing recovery: Comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants. *Water Research*, 38(2), 486–494. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.005>

Medina, L., Brito, E., Torrestiana, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417–424. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)

MINAGRI. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>

MINSA. (2010). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA*. Recuperado de

<http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>

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

Patale, V., & Pandya, J. (2012). Mucilage extract of *Coccinia indica* fruit as coagulant-flocculent for turbid water treatment. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 2(4), 442–445.
<http://pelagiaresearchlibrary.com/asian-journal-of-plant-science/vol2-iss4/AJPSR-2012-2-4-442-445.pdf>

Pinto, A. L. (2017). *Evaluación y comparación de naturales Aloe vera (Sábila) y Opuntia ficus-indica (Nopal / Tuna) y orgánicos* [Universidad Católica de Santa María - Arequipa].
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6664/42.0157.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rachdi, R., Srarfi, F., & Shimi, N. S. (2017). Cactus *Opuntia* as natural flocculant for urban wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 76(7), 1875–1883. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.370>

Ramírez, D., María, I., Quintero, M., Curbelo, C., & Crespo, L. (2016). Influencia del tamaño de partícula y la velocidad de agitación sobre el rendimiento de pectina Influence of the particle size and the stirring speed over the pectin yield. *Revista Cubana de Farmacia*, 50(1), 98–105. <http://scielo.sld.cu>

Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and

characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68(4), 534–545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>

Silva, M. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias Para optar el Título Profesional de Ingeniera Química*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Tarón, A. A., Guzmán, L. E., & Barros, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73. <https://doi.org/10.22579/20112629.396>

Torres, R., Morales, D., Ballinas, M., & Nevárez, G. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1129–1142. <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263139893015.pdf>

Trachtenberg, S., & Mayer, A. M. (1980). Biophysical properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*, 21(12), 2835–2843. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(80\)85052-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(80)85052-7)

Trachtenberg, S., & Mayer, A. M. (1981). Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*, 20(12), 2665–2668. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85263-6](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85263-6)

Uriev, N. B. (2016). *Technology of Dispersed Systems and Materials*. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/9783527806195>

Vargas, M., & Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 19(4), 37–41.

Zou, J., Zhu, H., Wang, F., Sui, H., & Fan, J. (2011). Preparation of a new inorganic-organic composite flocculant used in solid-liquid separation for waste drilling fluid. *Chemical Engineering Journal*, 171(1), 350–356.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.100>