

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS

**EFECTO DEL MUCILAGO DE *Opuntia ficus indica* (Tuna) COMO
COAGULANTE NATURAL Y COADYUVANTE AL SULFATO DE ALUMINIO EN EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA LAGUNA
DE ESTABILIZACIÓN DE QUERAPATA, DISTRITO DE CHINCHERO**

PRESENTADO POR:

Bach. Hiker David Mogrovejo Quispe

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

BIÓLOGO

ASESORA:

Mgt. Blga. Isabel Rodriguez Sanchez

CUSCO – PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD DE TESIS

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

La que suscribe, asesora del trabajo de investigación/tesis titulada: **EFFECTO DEL MUCILAGO DE *Opuntia ficus indica* (Tuna) COMO COAGULANTE NATURAL Y COADYUVANTE AL SULFATO DE ALUMINIO EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE QUERAPATA, DISTRITO DE CHINCHERO** presentado por **HIKER DAVID MOGROVEJO QUISPE** con Nro. de DNI: 47838142, y código 073424, para optar el título profesional de Biólogo.

INFORMA, que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por, 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesora, certifico en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 23 de enero del 2024


Mgt. Blga. Isabel Rodríguez Sánchez
Asesora de tesis
D.N.I. 23963444

0000-0002-1266-6382

ORCID del Asesor

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Identificación del Reporte de Similitud: oid:27259:311181631

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO MUCILAGO opuntia ficus indica
COMO COAGULANTE NATURAL Y COAD
YUDANTE AL SULFATO DE ALUMNIO EN**

RECuento DE PALABRAS

29088 Words

RECuento DE CARACTERES

152778 Characters

RECuento DE PÁGINAS

164 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.8MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 23, 2024 4:05 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 23, 2024 4:08 PM GMT-5

● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

CONTENIDO

RESUMEN	i
INTRODUCCION.....	ii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	iv
JUSTIFICACIÓN	v
OBJETIVOS	vi
HIPOTESIS	vii

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES.....	8
1.2. MARCO TEÓRICO.....	12
1.2.1 Aguas Residuales.....	12
1.2.1.1 Clasificación De Las Aguas Residuales	13
1.2.1.2 Tratamiento De Las Aguas Residuales.....	15
1.2.1.2.1 Pre Tratamientos	15
1.2.1.2.2 Tratamiento Primario	16
1.2.1.2.3 Tratamiento Secundario	17
1.2.1.2.4 Tratamiento Terciario.....	19
1.2.1.3 Características De Las Aguas Residuales.....	19
1.2.1.3.1 Parámetros Físicos.....	19
1.2.1.3.2 Parámetros Químicos	22
1.2.1.3.3 Parámetros Biológicos.....	24
1.2.1.4 Tratamiento De Aguas Residuales Por Coagulación.....	26
1.2.2 Mucilago De Opuntia ficus indica - Tuna.....	37
1.2.2.1 Taxonomía De La Tuna.....	37
1.2.2.2 Descripción Botánica De La Tuna.....	38
1.2.2.3 Mucilago De La Tuna:.....	41

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES	45
2.2. PROCEDENCIA DE LAS PENCAS DE <i>Opuntia ficus – indica</i> (TUNA).....	47
2.3. UBICACIÓN DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE QUERAPATA	48
2.4. METODOLOGÍA	50
2.4.1 Determinación de la Composición Química y la Dosis Optima del Mucilago de Tuna en Base Seca y Húmeda.....	53
2.4.1.1 Analisis Quimico del Mucilago de Tuna.....	53
2.4.1.2 Obtención del Mucilago de Tuna en Base Seca	55
2.4.1.3 Obtencion del Mucilago de Tuna, en Base Humeda	58
2.4.1.4 Metodo del Test De Jarras	59
2.4.2 Evaluación del Efecto Coadyuvante de la Combinación del Mucilago de Tuna con Mejor Resultado de Remoción de Turbidez + Sulfato de Aluminio en la Clarificación de las Aguas Residuales.....	64
2.4.3 Prueba Estadística de ANOVA de 2 Vías.....	66
2.4.4 Análisis Fisicoquímicos y Bacteriológicos de las Aguas Residuales Antes y Después de los Tratamientos.....	67
2.4.4.1 Analisis Fisicoquimicos.....	67
2.4.4.2 Analisis Bacteriologicos	70

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DOSIS OPTIMA DEL MUCILAGO DE TUNA, EN BASE SECA Y HÚMEDA PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ.....	73
3.1.1 Resultado de la Composición Química del Mucilago de Tuna.....	73
3.1.2 Resultados de la Dosis Optima del Mucilago de Tuna.....	75
3.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO COADYUVANTE DE LA COMBINACIÓN DE MUCILAGO DE TUNA CON LA MEJOR DOSIS EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ + SULFATO DE ALUMINIO EN LA CLARIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	81
3.3. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS COMPARADOS CON LOS LMP.....	86
3.3.1 Resultado de los Análisis Fisicoquímicos.....	86
3.3.2 Resultados Del Análisis Bacteriológico.....	90
3.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	92
3.4.1 Composición Química del Mucilago de Tuna y Dosis Optima del Mucilago de Tuna en Base Seca y Húmeda para la Remoción de Turbidez.....	92
3.4.2 Efecto Coadyuvante de la Combinación del Mucilago de la Tuna con Mejor Dosis en la Remoción de Turbidez + Sulfato de Aluminio en la Clarificación de las Aguas Residuales.....	98
3.4.3 Analisis Bacteriologicos y Fisicoquimicos Antes y Despues De Los Tratamientos Comparados con los LMP.....	99

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Consumo y generación de aguas residuales a nivel mundial por sectores	13
Figura 2	Modelo de la doble capa de una partícula coloidal	28
Figura 3	Esquema de las fuerzas de Van der Waals.....	28
Figura 4	Repulsión y atracción de las partículas	29
Figura 5	Formación del puente entre las partículas coloidales aglomeradas.....	35
Figura 6	Tuna adulta con los cladidos formando el tallo y dando origen a los frutos	38
Figura 7	Cladidos de tuna donde se encuentran las areolas y espinas.....	39
Figura 8	Flores y diversidad de colores de la Tuna	40
Figura 9	Coloración del fruto de la tuna	41
Figura 10	Propuesta de la estructura parcial del mucilago de tuna	43
Figura 11	Recolección de las pencas de tuna, vía de evitamiento Ollantaytambo – detrás de la urb. Mascabamba	48
Figura 12	Ubicación de la Laguna de Estabilización de Querapata	50
Figura 13	Flujograma de la investigación.....	52
Figura 14	Grafica del Diseño Experimental de la Etapa I	63
Figura 15	Grafica del Diseño Experimental de la Etapa II.....	66
Figura 16	Comparación entre los mucilagos de tuna en base seca y húmeda	74
Figura 17	Comparación entre resultados fisicoquímicos de los tratamientos.	89
Figura 18	Comparación de Tukey al 95% para las dosis del MTBS	124
Figura 19	Comparación por Parejas de Fisher para el MTBS	124
Figura 20	Comparación por parejas de Fisher para el MTBH.....	126
Figura 21	Graficas de intervalos MTBS x MTBH VS Remoción de Turbidez.....	126
Figura 22	Datos del ANOVA 2 vías - Minitab19.....	128
Figura 23	Resumen de la Comparación de Tukey en Minitab 19	130
Figura 24	Grafica de Efectos Principales por Separado	130
Figura 25	Grafica de factoriales de interacción de Dosis de MTBS y MTBS * Dosis de Cg In VS Turbidez.....	131
Figura 26	Ubicación del laboratorio de operaciones – Vida Sana.....	132
Figura 27	Operaciones de la obtención del mucilago de tuna en base seca	133
Figura 28	Obtención de agua residual – laguna de estabilización Querapata	142

Figura 29 Test de jarras de los tratamientos MTBS, MTBH y MTBS + sulfato de aluminio.	143
Figura 30 Filtrado de los tratamientos para las pruebas respectivas.....	147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Tiempo de sedimentación de las partículas según su diámetro	27
Tabla 2	Coordenadas del lugar de recolección de las pencas de tuna.....	47
Tabla 3	Estado de la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero	49
Tabla 4	Coordenadas de la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero	49
Tabla 5	Identificación de las variables en la investigación.....	51
Tabla 6	Componentes del análisis químico del mucilago de tuna	54
Tabla 7	Identificación de las variables para la aplicación del mucilago de tuna	62
Tabla 8	Identificación de las variables dependientes e independientes.	64
Tabla 9	Resultados del análisis químico del mucilago de tuna.....	73
Tabla 10	Resultados de dosis de mucilago de tuna en base seca y húmeda vs turbidez.....	75
Tabla 11	Análisis de Varianza de las dosis del MTBS y MTBH	76
Tabla 12	Comparación de Tukey para el MTBS (gr/L).....	78
Tabla 13	Comparación de Tukey para el MTBH (ml/L)	79
Tabla 14	Resultados de la combinación de mucilago de tuna + sulfato de aluminio	81
Tabla 15	Análisis de varianza de 2 factores (mucilago de tuna y sulfato de aluminio).....	82
Tabla 16	Comparación por parejas de Tukey: Dosis de MT y Dosis de Cg In	84
Tabla 17	Análisis fisicoquímicos de los tratamientos con mejor remoción de turbidez.....	87
Tabla 18	Análisis microbiológicos de los tratamientos con mejor remoción de turbidez	91
Tabla 19	Comparación de resultados con otros autores.....	95
Tabla 20	Base de datos sobre los pesos de las pencas de tuna.....	119
Tabla 21	Lectura completa de turbidez de los tratamientos realizados	120
Tabla 22	Formulación de Hipótesis para efecto de coagulante orgánico del MT.....	121
Tabla 23	Información de la prueba de ANOVA de 2 factores.....	122
Tabla 24	Promedio de las medias de la turbidez del MTBS y MTBH	122
Tabla 25	Análisis de ANOVA de 2 vías para el MTBS y MTBH.....	123
Tabla 26	Resumen del Modelo de Varianza (ANOVA) de un factor	123
Tabla 27	Comparación de Tukey al 95% para el MTBH	125
Tabla 28	Información de los factores independientes para el efecto coadyuvante	127
Tabla 29	Análisis de Varianza de 2 vías	128
Tabla 30	Ubicación del laboratorio de operaciones Vida Sana	132

LISTA DE ABREVIATURAS

MTBS: Mucilago de Tuna en Base Seca
MTBH: Mucilago de Tuna en Base Húmeda
Cg In: Coagulante Inorgánico
AR Qpata: Agua Residual de la laguna de estabilización de Querapata
Qpta: Laguna de Estabilización de Querapata
Al₂(SO₄)₃: Sulfato de Aluminio
MTBS A: Mucilago de tuna en Base seca a dosis constante de 0.5gr/l
MTBH B: Mucilago de tuna en Base Húmeda a dosis constante de 10ml/l
LMP: Límite Máximo Permisible
Tto: Tratamientos
Flocs: Sedimento floculado material sedimentado post coagulación
OFI: *Opuntia ficus indica*
CAM: Metabolismo Acido de las Crasuláceas
DBO₅: Demanda bioquímica de Oxígeno por 5 días
DQO: Demanda Química de Oxígeno
SST: Solidos Suspendidos Totales
A y G. Aceites y Grasas
pH: Potencial de Hidrogeniones
UNT: Unidades Nefelometricas de Turbidez
NMP/100ml: Numero Mayor Probable en 100 mililitros
UFC: Unidades Formadoras de Colonias
CT: Coliformes Termotolerantes
WWAP: World Water Assessment Programme
OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
SUNASS: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
FONAM: Fondo Nacional del Ambiente
MTCVC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OMS: Organización Mundial de la Salud

RESUMEN

En el presente trabajo, se evaluó el Efecto del mucilago de las pencas de *Opuntia ficus indica* (tuna) como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la laguna de estabilización de Querapata, para lo cual se determinó la composición química del mucilago en base seca y húmeda, se estableció la dosis optima de mucilago en base seca y húmeda para la remoción de turbidez, se evaluó la combinación del mucilago de tuna como coadyuvante + sulfato de aluminio. Por último, se realizó los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos antes y después de los tratamientos.

Se determinó la composición química del mucilago mediante el método de análisis de alimentos A.O.A.C, se empleó el método del test de jarras para identificar la dosis optima del mucilago de tuna y evaluar su efecto en combinación con el sulfato de aluminio, se realizó lecturas de turbidez mediante el método de turbidimetria y los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos utilizando los Standard methods for examination of water and wastewater.

Los resultados muestran que el mucilago en base seca presenta un alto contenido de carbohidratos de 83.41%. La dosis óptima determinada para la remoción de turbidez fue de 0.5gr/l de mucilago de tuna en base seca lo que logro una remoción de 73.74%. Además, al combinar el mucilago de tuna con sulfato de aluminio a una dosis de 20ml, se obtuvo una remoción del 95.14% con una turbidez promedio de 6.75 NTU. Los análisis fisicoquímicos mostraron que el mucilago en base seca cumplió con los LMP establecidos. Sin embargo, los análisis bacteriológicos revelaron una remoción limitada para los coliformes termotolerantes no cumpliendo con los LMP correspondientes.

PALABRAS CLAVE: Mucilago de tuna, coagulante natural, coadyuvante, remoción de turbidez,

INTRODUCCION

La gestión adecuada de aguas residuales es crucial para preservar la calidad del agua y garantizar la salud pública. Originadas por diversas actividades humanas, industriales, agrícolas y más, las aguas residuales enfrentan desafíos significativos debido al crecimiento demográfico, la urbanización en países en desarrollo y el cambio climático, que amenazan la disponibilidad de agua limpia. Las descargas directas sin tratamiento en cuerpos receptores son una causa primordial de contaminación, poniendo en riesgo la sostenibilidad del recurso y la salud de la población. (SUNASS, 2016)

A nivel mundial, aproximadamente el 80% de las aguas residuales no se trata, y en América Latina y el Caribe, esta cifra oscila entre el 70% y el 80%, contribuyendo a la muerte de más de 800,000 personas anualmente por el consumo de agua contaminada (UNESCO, 2017). En el contexto peruano, la normativa vigente establece valores máximos admisibles y límites permisibles para la calidad de las aguas residuales, regulando descargas industriales, efluentes de plantas de tratamiento y estándares de calidad ambiental. (SUNASS, 2016)

En Perú, durante el año 2009, se recolectaron aproximadamente 786.4 millones de m³ de aguas residuales, de las cuales solo el 35% fue tratado, dejando un 65% vertido directamente sin tratamiento. Las lagunas de estabilización son la tecnología más utilizada, pero muchas carecen de autorización, presentan fallas y sobrecarga, comprometiendo la efectividad del tratamiento (SUNASS, 2016). En el Cusco, la PTAR de San Jerónimo – Seda Cusco ha mostrado eficacia, pero las estadísticas no cubren las áreas rurales.

Existen variables alternativas para el tratamiento de aguas residuales, enfocándose en la eliminación física o mecánica de materiales sedimentables y la reducción de carga orgánica. La coagulación-floculación, es el método más aplicado, implica la adición de sustancias químicas, sin embargo, presenta desventajas como la generación de grandes cantidades de lodo, modificaciones

en el pH y costos medianamente elevados. Surge interés en coagulantes alternativos, como los orgánicos de semillas de *Moringa oleifera* y arcillas como la bentonita

Ante estos desafíos, surge la necesidad de explorar alternativas efectivas y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. Este estudio se centra en evaluar el efecto del mucílago de *Opuntia ficus indica* (tuna) como coagulante y coadyuvante al sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales de la Laguna de Estabilización de Querapata, con el objetivo de contribuir a la reducción de lodos, minimizar el uso de sulfato de aluminio y mejorar la eficiencia del tratamiento, promoviendo así la protección del medio ambiente y los recursos hídricos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El distrito de Chinchero, a través de la municipalidad en mención, realiza el tratamiento de sus aguas residuales mediante el sistema de lagunas de estabilización. Sin embargo, este sistema presenta deficiencias que comprometen el tratamiento de sus aguas residuales. La laguna de estabilización no cuenta con la infraestructura básica, asimismo la municipalidad no lleva a cabo mediciones permanentes de la turbidez del agua, no cuentan con un registro actualizado de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual. Estos problemas provocan un rendimiento deficiente o nulo de la laguna de estabilización de Querapata – Chinchero.

FORMULACION DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL

¿El mucilago de las pencas de *Opuntia ficus indica* (Tuna) tiene efecto de coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la laguna de estabilización de Querapata, distrito de Chinchero - Cusco?

PROBLEMAS ESPECIFICOS

¿Cuál es la composición química y la dosis optima del mucilago de tuna en base seca y húmeda para la remoción de la turbidez de las aguas residuales?

¿Cuál es el efecto coadyuvante de la combinación del mucilago de tuna con mejor dosis en la remoción de turbidez + sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas residuales?

¿Cuáles serán las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas residuales antes y después de los tratamientos, comparados con los LMP?

JUSTIFICACIÓN

En la localidad de Querapata en el distrito de Chinchero, se encuentra la laguna de estabilización de Querapata, que recibe todas las aguas residuales del casco urbano, siendo el principal sistema utilizado para el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, en la situación actual no demuestra un tratamiento de las aguas residuales, lo cual tiene un impacto negativo en la calidad del agua y en la salud de la población. Según SUNASS, 2016, las lagunas de estabilización carecen de infraestructura básica, no presentan registros actuales sobre la turbidez, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. En el estado actual dicho sistema no logra un tratamiento de las aguas residuales siendo una simple acumulación de aguas residuales sin generar los efectos mínimos deseados.

Ante esta problemática, del nulo tratamiento de las aguas residuales, se plantea la investigación sobre el “Efecto del mucílago de *Opuntia ficus – indica* (tuna) como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la laguna de estabilización de Querapata, Chinchero”. El objetivo principal es ofrecer una alternativa ecológica a los coagulantes químicos. Se busca lograr la remoción de turbidez, la clarificación en las aguas residuales, y reducir los valores de acuerdo a los LMP del D.S 003 – 2010 – MINAM. La investigación busca implementar el uso del mucílago de tuna en el tratamiento de aguas residuales en áreas rurales que utilizan el sistema de lagunas de estabilización.

Los resultados de la investigación serán base para futuros estudios y generar recomendaciones en el tratamiento de aguas residuales. Se anticipa que los hallazgos ofrecerán orientación para mejorar la remoción de contaminantes según los LMP del D.S. 003 – 2010 – MINAM

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del mucilago de las pencas de *Opuntia ficus indica* (Tuna) como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la laguna de estabilización de Querapata, distrito de Chinchero - Cusco

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar la composición química y la dosis optima del mucilago de tuna en base seca y húmeda para la remoción de turbidez de las aguas residuales
2. Determinar el efecto coadyuvante de la combinación del mucilago de tuna con mejor dosis en la remoción de turbidez + sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas residuales
3. Realizar el análisis fisicoquímico y bacteriológico de las aguas residuales antes y después de los tratamientos, comparados con los LMP.

HIPOTESIS

Hipótesis Nula (Ho): El mucilago de *Opuntia ficus indica* (Tuna), no tiene efecto como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en la remoción de turbidez de las aguas residuales de Querapata.

Hipótesis Alterna (Hi): El mucilago de *Opuntia ficus indica* (Tuna), tiene efecto como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en la remoción de turbidez de las aguas residuales de Querapata.

Variables Independientes:

- Dosis de mucilago de tuna en base seca
- Dosis de mucilago de tuna en base húmeda
- Dosis de mucilago de tuna + dosis de sulfato de aluminio

Variables Dependientes:

- Remoción de Turbidez

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

- Cabrera. et al, (2017) en la investigación “Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias” de la Universidad tecnológica de Pereira. Extrajo el mucilago como coagulante de las semillas en polvo de *Ipomoea incarnata*, realizo la caracterización para identificar y cuantificar sus componentes, obteniendo como alcaloide principal al acido D-lisergico 0.031% como principio activo. Evaluó su poder coagulante midiendo los parámetros de turbidez y Ph comparándolas con los coagulantes inorgánicos $Al_2(SO_4)_3$, $CuSO_4$, sulfato de hierro II y III y *Moringa oleífera*. Obteniendo una remoción de turbiedad de 920 UNT a 7.51 UNT alcanzando un porcentaje de remoción de 99.18%. Concluyendo que el coagulante natural de *Ipomoea incarnata* tiene un alto potencial en el tratamiento de las aguas residuales industriales.
- Díaz, (2014), en su investigación “Coagulantes Floculantes Orgánicos e Inorgánicos Elaborados de Plantas y de Reciclaje de la Chatarra “realizado en la Universidad pedagógica nacional Francisco Morazán, Honduras. Elaboró 4 coagulantes naturales a partir de semillas de moringa, caulote, almidón de yuca y casulla de café y 3 coagulantes inorgánicos en base a virutas de chatarra de Fe, Al y Zn mediante reacción de oxidación con HCl y H_2SO_4 obteniendo los coagulantes cloruro férrico, sulfato de aluminio y sulfato de zinc. Analizo los parámetros de pH, turbiedad y oxígeno disuelto de las aguas residuales domésticas, fábrica y crique obteniendo resultados: turbiedad < a 5NTU y oxígeno disuelto que cumple con los parámetros para pureza de agua y las comparo con el coagulante natural comercial SEA KLEAR y el coagulante inorgánico sintético SUPER BLUE. Concluyendo

que el coagulante – floculante natural e inorgánico más efectivo fue el caulote y el sulfato de aluminio obtenido por las virutas de aluminio de chatarra.

- Villabona. et al, (2013), la investigación “Caracterización de la *Opuntia ficus indica* – para su uso como coagulante natural” de la Universidad Nacional de Colombia – Bogotá; realizaron la extracción del coagulante en polvo de la penca de tuna, su caracterización fitoquímica de la tuna en fresco y del polvo extraído. Sus resultados fueron: por cada kg de penca de tuna obtuvieron 65gr de coagulante en polvo pigmentado, esto debido al alto contenido de humedad y cutícula, las características químicas de la tuna fresca son pH: 4.42, humedad; 90.23%, calcio: 0.27%, hierro; 32.55ppm, flavonoides; 10.16mg/gr y saponinas: 0.70mg/gr y del polvo de tuna son nitrógeno: 7.39% y carbohidratos: 58.77%. Para evaluar el poder coagulante se utilizaron 03 dosis de polvo de tuna de 50, 75 y 90mg/l a 30rpm al agua sin tratar con características de, color: 167.99UPC, turbidez: 170.90NTU y pH; 7.8 y el mejor resultado fue con la dosis de 90mg/l removiendo el 54% de color (78 – 88UPC) y 72% de turbidez (46 – 80NTU). Concluyendo que el alto contenido de carbohidratos son los que le confieren el poder coagulante a la tuna.
- Villanueva, (2019), la investigación “Efecto de tres concentraciones de mucilago de tuna (*Opuntia ficus- indica* (L) Miller) y de San Pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & G.D.Rowley) en la clarificación del agua. Desarrollado en el laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca. Extrajo el mucilago en fresco de tuna y San Pedro, las deshidrato a 65°C durante 3 días y preparo el agua turbia con sustrato de suelo con turbiedad entre 500 – 1000 UNT. Utilizo tres concentraciones de 0.75, 1.00 y 1.25gr/L para la clarificación del agua turbia. Obteniendo mejores resultados a una dosis de 1.25gr/L removiendo turbiedad de 712.8 NTU a 69 NTU con la tuna y 781.5

a 171 UNT para san pedro alcanzando un porcentaje de remoción de 90.26% y 78% observo que los sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica aumentan y el pH disminuye. Concluyendo: la dosis óptima de coagulante para cada especie es de 1.25gr/L y el cactus más efectivo en la clarificación del agua es la tuna.

- Apaza, (2013), su investigación “Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa”, consta de: etapa de laboratorio realizado en la Universidad Católica Santa María y su aplicación in situ en el puente Tiabaya. Obtuvo el coagulante-floculante natural en base húmeda reposando trozos de tuna en agua destilada durante 24 horas, su dosis optima fue de 80% seguido de un tratamiento con filtro reduciendo los coliformes totales de 220’000,000 NMP/100mL a 2’000 NMP/100mL y turbidez hasta 4.1 UNT en la aplicación in situ el sistema redujo coliformes totales de 130’000 NMP/100mL a 3’700 NMP/mL, la DQO de 159 a 118mgO₂/L y la DBO de 104 a 39mgO₂/.Concluye el nopal es buen coagulante–floculante, se puede aprovechar con los frutos y la crianza de cochinilla para la obtención de grana.
- Lopéz, (2018), en su investigación “Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus – indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas” realizado en la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Preparo una solución sintética de agua destilada con arcilla bentónica con valores de turbiedad de 20, 50, 100. 300 y 500 UNT emulando las aguas residuales de la PTAR La Artajea, seco la pulpa de tuna en trozos a 60°C por 3hr.para el coagulante en polvo. Consiguió la dosis optima en el rango de 30 – 90 mg/L, concentración óptima para 20 – 50 UNT de 2%, de 100 – 300 UNT de 1%, 500UNT de 0.5% y pH optimo a 9. Concluye: el porcentaje de remoción alcanzado fue de

86% para 500UNT, el coagulante de tuna no altera el pH ni la conductividad como el coagulante sulfato de aluminio.

- Huamán. et al, (2013), el trabajo de investigación tecnológico “Tratamiento de los lixiviados de Jaquira con coagulantes naturales” realizado en el laboratorio de los recursos orgánicos de la UNSAAC. Comprendió la obtención, análisis preliminar del pH, sólidos totales, DBO₅, DQO Y turbiedad de los lixiviados, extracción del coagulante en polvo del gigantón, pectina comercial y el tratamiento fisicoquímico por coagulación – floculación. Lograron remover la materia orgánica expresadas en DQO hasta un 67.5% con el gigantón y con la pectina comercial 54.1% utilizando 0.08gr de coagulante a velocidad de agitación de 20rpm y tiempo de floculación de 10mi. Concluyendo: el gigantón tiene mayor eficiencia sobre la pectina comercial en 13.4%.
- Choque. et al, (2018), investigaron la “Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas” en colaboración con la UNSAAC. Evaluaron el poder coagulante – floculante de *Echinopsis pachanoi* (san pedro), *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus* (tuna) extrayendo el coagulante en polvo de cada cactácea con diferentes solventes y el agua artificial mezclando caolín con agua destilada. El tratamiento lo hicieron aplicando concentraciones de 1%,2% y 3% sus resultados arrojaron un incremento del Ph de 6.61 a 7.58 y DBO de 0.57mgO₂/L a 3.66mgO₂/L debido a la cantidad de proteínas y sacarosa, la dureza y alcalinidad no tuvieron un incremento significativo, el san pedro tiene mayor porcentaje de remoción de 45.58 – 99.23%. Concluyen que la actividad coagulante se incrementa con la concentración y tienen mejor actividad coagulante los extraídos con etanol.

- Chacón, et al, (2021), su investigación financiada por YACHAYNINCHIS WIÑARIÑANPAQ “Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramírez, Anta – Compone” realizada en el laboratorio de hidrocarburos de la UNSAAC. Realizo un análisis fisicoquímico y microbiológico en el afluente, la electrocoagulación mediante un reactor tipo Batch con electrodos monopolares en paralelo: 02 electrodos de aluminio en el ánodo y 02 de acero inoxidable en el cátodo. Obtuvieron porcentajes de remoción a 56.7 A/m^2 en un tiempo de 50min: DQO 86.96%, DBO₅ 71.94% A y G 74.81%, TSS de 55.31% a 30min y reducción de los coliformes totales de 150 000 NMP A 700 NMP.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales son producto de las actividades domésticas e industriales que utilizan agua, una vez que el agua ya sido utilizada, se la considera como una molestia, una carga a ser eliminada o ignorada. Como consecuencia de las descargas inapropiadas de las aguas residuales son: el deterioro y contaminación de los ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, lagunas, océanos, mares y aguas subterráneas), disminuyendo la calidad de las fuentes de agua, provocando enfermedades en la salud humana transmitidas por el agua contaminada y disminuyendo la productividad económica. (WWAP, 2017)

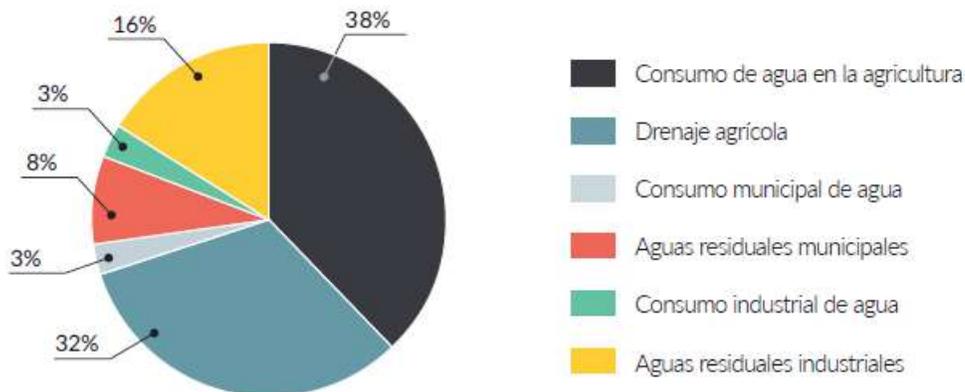
El tratamiento de las aguas residuales a nivel mundial depende de los ingresos de cada país, países con ingresos altos tratan alrededor del 70% de las aguas residuales, países con ingresos medios – altos un promedio del 38% y los países con ingresos bajos llegan al 8% de aguas residuales con algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan, que en el mundo más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento, siendo una práctica habitual en países en

desarrollo, a causa de no contar con la infraestructura, capacidades técnicas, financiamiento necesario. (WWAP, 2017)

Según la base de datos del AQUASTAT, 2015 de la ONU y la FAO, del informe de la WWAP, 2017. A nivel mundial, se considera las extracciones de agua dulce en 3.928km^3 , siendo la agricultura la primera en consumir grandes cantidades de agua, seguido del consumo municipal y por último la industrial

Figura 1

Consumo y generación de aguas residuales a nivel mundial por sectores



Fuente: Tomado de (WWAP, 2017), Basado en datos de AQUASTAT (n.d.a.); Mateo-Sagasta et al. (2015); Shiklomanov (1999). Aportados por Sara Marjani Zadeh (FAO).

1.2.1.1 Clasificación De Las Aguas Residuales

Las aguas residuales se clasifican de acuerdo a la cantidad y calidad de las sustancias que contiene, bacterias, material disuelto, sustancias químicas, etc. la forma más simple de clasificarlas es de acuerdo a la procedencia de las aguas residuales (Arriols, 2018).

De acuerdo a la OEFA, (2014) las aguas residuales se clasifican en aguas residuales industriales, domesticas y municipales.

AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Se generan a partir del desarrollo de un proceso productivo de transformación o manipulación del agua, proceden de las diferentes actividades como minería, pecuaria, energética, agroindustrial entre otras. (OEFA, 2014). Según el tipo de actividad se generarán aguas residuales con diferentes contaminantes que se caracterizaran por su variedad de industrias y variabilidad de procesos, para poder tratar el agua residual industrial se tiene que conocer el tipo de industria sus procesos y costumbres estas aguas no pueden ser vertidas a la red de alcantarillado. (Zambrano 2009)

TIPOS DE VERTIDOS INDUSTRIALES:

- Continuos: procesos que tienen una entrada y salida continua de agua (transporte, lavado, refrigeración, etc.)
- Discontinuos: procesos de operaciones intermedias son las aguas más contaminadas (baños de curtido, lejías negras, etc.) (Lutenberg, 2012)

En Perú el vertido de las aguas residuales industriales está regulada por el D.S. 010 - 2019 – Vivienda, donde se aprueba el reglamento de los valores máximos admisibles (VMA), que establece las condiciones de los vertidos de las aguas residuales y define instrumentos de disciplina y control para garantizar dicho vertimiento, no obstante las aguas residuales son vertidas a los cuerpos de agua natural o son camufladas con los niveles establecidos de los VMA, para evitar sanciones, multas y cierre temporal o permanente. (MVCS, 2019)

AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Según la OEFA, 2014 estas aguas provienen de zonas residenciales e instalaciones comerciales privadas o publicas que contienen germenos patogenos de desechos fisiologicos, materia organica, solidos, detergentes (lavado y limpieza), nitrogeno, fosforo entre otras.

AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Son aguas residuales domesticas mezcladas con aguas de escorrentía urbana (drenaje) que provienen de las precipitaciones pluviales (lluvia, nieve granizo), o con aguas residuales industriales previamente tratadas, todas estas aguas se vierten al alcantarillado. (OEFA, 2014)

1.2.1.2 Tratamiento De Las Aguas Residuales

El tratamiento de las aguas residuales aplica operaciones y procesos fisicos, quimicos y biologicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta alcanzar el nivel adecuado para su disposisicon final, según la normatividad de cada pais. El objetivo del tratamiento es la producion de agua limpia o reutilizable en otros procesos, de esta manera se evita la contaminacion de los ecosistemas, las enfermedades en la salud humana. (MINAM, 2009)

El tipo y metodo del tratamiento a utilizar a las aguas residuales dependera de las propiedades y caracterisiticas del agua residual. Por ejemplo las aguas residuales domesticas y municipales en la gran mayoria presentan contaminantes como materia organica, bacterias, virus y detergentes que pueden ser tratadas por medios fisicoquimicos y biologicos, por otro lado tenemos las aguas residuales industriales (pecuario, agricola, minero, etc.) que requeriran tratamientos mas complejos debido a la caracterisiticas de sus aguas. De esta manera podemos mencionar que antes de cada tratamiento es necesario realizar una caracterizacion fisicoquimica y biologia de las aguas a tratar y asi delimitar su tratamiento.(Gil, 2020)

1.2.1.2.1 Pre Tratamientos

Consiste en retirar físicamente los sólidos grandes, materias, cuerpos gruesos y arenosos, a través de procesos como el desbaste (cribado y tamizado), desarenado y desaceitado o desengrasado que se utilizan en todo tipo de PTAR, evitando que afecten el funcionamiento

eficiente de la maquinaria, equipos e instalación que perjudicarían el tratamiento final de las aguas residuales. (FONAM, 2010)

- Desbaste mediante cribas o rejas para eliminar material con tamaño excesivo (botellas, papeles tapas, etc.)
- Tamizado: eliminación de materia orgánica de $\geq 0.2\text{mm}$ (residuos vegetales y animales)
- Desarenador: con el fin de eliminar partículas de granulometría $>$ a 200 micras
- Desengrase: para quitar aceites, grasas y espumas que alteren los post tratamientos.

(FONAM, 2010)

1.2.1.2.2 Tratamiento Primario

El tratamiento primario consiste en la remoción de los sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante procesos de sedimentación, este primer tratamiento permite remover entre el 65% de sólidos suspendidos totales y 35% de DBO₅. (De la Vega , 2012)

Entre los principales procesos y operaciones se encuentran:

- Tanques imhoff: se utiliza para la sedimentación de los SST e incorpora la digestión de lodos en la parte inferior cónica, la desventaja cubre comunidades $<$ a 500hab y genera malos olores.
- Tanques de sedimentación: pueden tener formas circulares, rectangulares o cuadradas, presentan una mayor infraestructura.
- Flotación: se basa en el mismo principio de la sedimentación, con la diferencia que las partículas en suspensión se localizan en la parte superior. Se realiza con la disminución de velocidad de la corriente de agua o el uso de aireadores. En el caso de los aireadores estas utilizan burbujas las cuales atrapan y arrastran las partículas en suspensión hacia la superficie, se utiliza cuando las densidades de las partículas y el agua son similares o

menores al agua (fibra vegetal y grasas), el objetivo es generar una alta densidad de burbujas de aire pequeño. (MVCS, 2009)

- Coagulación – Flocculación: facilitan la remoción de los SST, grasas, bacterias y partículas coloidales. (FONAM, 2010)

El proceso de coagulación se utiliza en la etapa de los tanques de sedimentación, ya que la coagulación atrapa partículas más pequeñas en el floc, confiriéndole un área de superficie más grande que ayuda en la sedimentación y la clarificación de las aguas.

1.2.1.2.3 Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario o biológico tiene como finalidad reducir mediante oxidación la materia orgánica biodegradable (DBO_5), que se emplea como nutriente en el metabolismo bacteriano, este tratamiento fue diseñado emulando la autodepuración que existe en forma natural en ríos lagos etc. (Rossi , 2010). Se utiliza microorganismos aerobios y anaerobios, encargados de transformar la materia orgánica disuelta en compuestos más sencillos como CO_2 , metano CH_4 , nitrógeno amoniacal NH_3 , nitratos NO_3 y agua. (De la Vega , 2012)

Producto del metabolismo bacteriano aerobio se obtiene células nuevas (biomasa) y poca cantidad de materia orgánica disuelta, mientras que las bacterias anaerobias generan gases como metano y bióxido de carbono y en menor grado células nuevas (De la Vega , 2012)

El tratamiento secundario permite remover la DBO_5 entre 50 a 95%. (MINAM, 2009), las tecnologías más utilizadas son:

- Lodos activados: tecnología utilizada en áreas urbanas, el proceso consiste en poner en contacto las aguas residuales con las bacterias del lodo en un deposito con sistema aireado o reactor, el sistema está compuesto por 2 tanques uno de aireación y el otro de sedimentación o clarificación. (FONAM, 2010)

- **Lagunas aireadas:** son embalses de agua residual que se oxigenan mediante aireadores superficiales o difusores de aire sumergidos, mantienen la materia orgánica en suspensión en contacto con el oxígeno. (FONAM, 2010)
- **Procesos anaeróbicos:** sistema donde ocurre un desarrollo, proceso y transformación microbiológica de la materia orgánica dentro de un recipiente hermético con producción de gases como metano, sulfuro de hidrogeno, etc. ejemplos: tanque séptico, lagunas y reactores anaeróbicos. (Rossi , 2010)
- **Lagunas de estabilización:** son estanques excavados, con el objetivo de acumular las aguas residuales por largos periodos de tiempo, donde se realiza el tratamiento por medio de la actividad microbiana con acciones simbióticas de algas y otros microorganismos, ayudan a la remoción de materia orgánica, nitrógeno, fosforo y eliminación de coliformes totales. Por lo general su función ocurre en la laguna secundaria, después de la llegada del afluente una laguna primaria o anaerobia facultativa de dimensiones pequeñas, la laguna de estabilización o secundaria con dimensiones que varían y profundidad entre 2 – 5m dependiendo del caudal y laguna terciaria o de maduración para reducir los coliformes totales, presenta ventajas como operaciones sencillas, construcción económica y poco personal. (Cortéz, et al. 2017)
- **Lagunas de oxidación:** De la misma forma que las lagunas de estabilización son depósitos contruidos mediante excavación y compactación de tierras a profundidad pequeña, se diferencia de las lagunas de estabilización en las dimensiones y profundidad de 1 – 3.5m, son aplicadas en zonas rurales, pequeños municipios y algunas pequeñas industrias, dependen de la radiación solar, condiciones climáticas de la zona, temperatura, frecuencia y fuerza de los vientos, presenta concentraciones mínimas de biomasa, permiten la

nitrificación del nitrógeno, eliminación de nutrientes y clarificación del efluente. Y presentan una función similar al tratamiento por lodos activados. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S, 2018)

1.2.1.2.4 Tratamiento Terciario

Tiene como finalidad eliminar la carga orgánica, microorganismos patógenos, detergentes, color, olor, fosfatos y nitratos que son remanentes del tratamiento secundario. Se utiliza el cloro como desinfectante típico por accesibilidad y fácil manipulación y así lograr un agua más pura e incluso potable (FONAM, 2010), sin embargo, este sistema presenta problemas de cloro residual por tal motivo se utilizan otros sistemas de desinfección como la radiación UV (ozono) o membranas. (Vidal & Araya , 2014)

El tratamiento de los lodos que provienen de los tratamientos primario y secundario se realizan añadiendo cal como bactericida, la eliminación de agua se realiza mediante la exposición al sol. De este modo el lodo tratado se dispone en vertederos, se incinera o es utiliza como fertilizante al suelo (depende de su composición) (FONAM, 2010)

1.2.1.3 Características De Las Aguas Residuales

Las aguas residuales tienen características y componentes diferentes, estas difieren de acuerdo al uso de cada proceso (industrial, doméstica y municipal); existen 03 características de las aguas residuales: físicas, biológicas y químicas.

1.2.1.3.1 Parámetros Físicos

COLOR: se debe a la descomposición de la materia orgánica como los tejidos vegetales, los ácidos húmicos, turba, plancton o la presencia de metales como el Fe, Mn, Cu y Cr, disueltos o en suspensión, efectos en el color disminuyen la transparencia entorpeciendo la visión de peces,

provoca un efecto barrea de la luz solar disminuyendo los procesos fotosintéticos del fitoplancton y restringe la zona de crecimiento de plantas acuáticas. (Antonio, 2007)

OLOR: Según Antonio, 2007 el olor no constituye una medida, más bien una apreciación teniendo un carácter subjetivo. Las aguas residuales liberan gases producto de la biotransformación de la materia orgánica, la materia orgánica se deposita en el fondo del estanque transformándose por bacterias anaerobias con producción de gases como el sulfuro de hidrogeno que se origina reduciendo sulfatos a sulfitos. (Ramos, et al, 2003)

TEMPERATURA: Es la medida relativa de la cantidad de calor contenida en el agua residual, es un parametro importante, ya que la mayoría de los procesos de biotransformacion se realizan por medio de reacciones quimicas, cuya cinetica se modicia postivamente o negativamente si varia la temperatura, por ejemplo si la T° aumenta la velocidad de degradacion de los compuestos (DBO₅) se incrementa, pero disminuye la solubilidad del O₂ (Ramos, et al, 2003)

SOLIDOS: se define al contenido de solidos como la materia orgánica e inorgánica que se obtiene después de someter al agua a un proceso de evaporación. Se clasifican a su vez en:

- Solidos suspendidos totales: incluye material disuelto y no disuelto.
- Solidos suspendidos: capaces de flotar o decantar en reposos, se remueven mediante procesos físicos y químicos.
- Solidos coloidales: Son partículas muy pequeñas que no sedimentan ni flotan, tampoco se pueden remover por medios físicos o mecánicos, siendo necesario un proceso de coagulación – floculación.

TURBIDEZ: es la medida de la dispersión de la luz por el agua, en el agua residual se puede encontrar materia suspendida como microorganismos que indicaría cambios en su calidad, o sustancias inorgánicas como arena, fango, arcilla o materiales orgánicos como tejidos, ácidos

húmicos, etc. estas partículas en suspensión provocan gustos y olores desagradables por lo que el agua de consumo debe estar exentas de las mismas. (Antonio, 2007)

CONSECUENCIAS DE NIVELES ALTOS DE TURBIDEZ

Los niveles elevados de turbidez ocasionan la proliferación de microorganismos como bacterias, protegen a los microorganismos de los efectos de la desinfección por cloro, las partículas suspendidas absorben calor de la luz solar, provocando que las aguas turbias se calienten, reduciendo la concentración de oxígeno por ende causando daño a organismos que necesiten oxígeno para subsistir, asimismo dispersan la luz disminuyendo la actividad fotosintética en plantas y algas. Como consecuencia de la elevada cantidad de sólidos disueltos al sedimentar en el fondo en lagos o lagunas poco profundas disminuyen el tiempo de vida de las mismas, recubriendo y sofocando a los huevos de peces y larvas. (Martínez, et al, 2020)

MEDICION DE LA TURBIDEZ

La turbidez mide la propiedad óptica de la luz, su intensidad al dispersarse a 90°o 180° cuando un haz o rayo de luz transita, a través de una suspensión (muestra de agua). La ISO 7027-2016 dispuso como única fuente de luz, la luz infrarroja a 860nm para la medición, aunque para mediciones de bajos rangos de turbiedad, convendría tener en cuenta el uso de la luz blanca que muestra una dispersión mayor cuando se trata de partículas de tamaño más pequeñas como complemento a la luz infrarroja (HANNAINSTRUMENTS, 2018)

Las unidades de medida utilizadas para la medición de la turbiedad son las Unidades Nefelométricas de Turbidez UNF/NTU, según la OMS (Organización Mundial para la Salud) los valores aceptados para agua de consumo humano no deben superar en ningún caso las 5 NTU, y se encontraría idealmente por debajo de la 1 NTU.

METODOS CUANTITATIVOS PARA MEDICION DE TURBIDEZ

Según la norma, se indican 02 métodos para medición de la turbidez

- NEFELOMETRIA: Consiste en una luz dispersa o difusa que pasa a travez de la solución en 90°, se utiliza comúnmente en muestras de agua con baja turbidez entre <0,05 y 400 UNF/NTU.
- TURBIDIMETRIA: el haz de luz es transmitida y luego atenuada a 180°, su uso es en aguas con turbiedad alta ejemplo: aguas residuales industriales (minería, ganadería, etc

La unidad de medida por turbidimetria se expresa en Unidades de Atenuación de Formazina FAU, los equipos de turbidimetria actuales expresan los resultados en NTU ya que el uso de la formazina es altamente toxico. (HANNAINSTRUMENTS, 2018)

1.2.1.3.2 Parámetros Químicos

Son principalmente la materia orgánica, materia inorgánica y gases presentes en el agua residual son las que le dan las características químicas al agua residual.

MATERIA ORGANICA:

La materia orgánica que se encuentra en el agua tanto disuelta como en forma de partículas, se mide mediante el contenido de carbono orgánico total (TOC), estos compuestos se clasifican de acuerdo a su biodegradabilidad, es decir la forma como son utilizadas por los microorganismos como fuente de alimentación, y para su medición se utilizan los parámetros de DBO y DQO. (Minaeees, 2016)

- DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

Permite determinar la materia orgánica biodegradable. La DBO cuantifica la cantidad de oxigeno que necesitan los microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica biodegradable presentes en el agua residual (Raffo, et al, 2014)

La transformación biológica de la materia orgánica es un proceso lento, en un tiempo de 20 días se completa la oxidación del 95 – 99%, por lo que se aceptó como norma la incubación durante 5 días que oxida el 60 – 70% de la materia orgánica, a 20°C con pH de 7 – 7.5, en oscuridad, fuera del contacto del aire con presencia de nutrientes que permitan el crecimiento de los microorganismos, procedimiento adoptado y aceptado por la Asociación Americana de Salud Pública en 1936.

- DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Determina la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica biodegradable o no biodegradable por medios químicos sin la intervención de microorganismos, cuanto mayor es la DQO, el agua residual es más contaminada, La prueba de DQO se realiza en menor tiempo que la DBO. La prueba de DQO oxida la materia biodegradable y no biodegradable de tal forma que la DQO siempre es mayor a la DBO ya que esta engloba a la primera. (Ibáñez, 2017)

MATERIA INORGÁNICA

Son compuestos que en su estructura no están basadas en átomos de carbono. De acuerdo a la OMS, 2016, los contaminantes inorgánicos se encuentran disueltos o dispersos en el agua, provienen de descargas domésticas, agrícolas, industriales y naturales como la erosión del agua a las rocas y minerales con las que entra en contacto. Las concentraciones de los componentes inorgánicos afectan mucho el uso del agua y tienen efecto tóxico en los seres vivos, Según la OMS, 2016 pueden ser:

- IONES NITROGENADOS: El NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y N orgánico provocan la eutrofización de los cuerpos de agua
- IONES SULFATOS: generan la lluvia ácida, disminuyendo el pH de las aguas, provocando alteraciones sobre el ciclo de vida de algunos animales.

- IONES CIANURO: proviene de la contaminación industrial de galvanoplastias, hornos, papel, telas, plásticos, etc. provoca intoxicación.
- METALES PESADOS: los metales pesados como el Cd, Cu y Pb forman complejos con los grupos amino y carboxilo interfiriendo en procesos de transporte por las paredes celulares, se unen a las enzimas inactivándolas. El problema de los metales pesados es su persistencia y acumulación en el medio ambiente. (OMS, 2006)

POTENCIAL DE HIDROGENIONES (pH): Es el logaritmo de la inversa de la concentración de protones: $\text{pH} = \log 1/ [\text{H}^+] = - \log [\text{H}^+]$

Propiedad básica que afecta las reacciones químicas y biológicas, el pH favorable para la mayoría de las especies acuáticas está entre 6.0 – 7.2, fuera del rango no es posible la vida a causa de la desnaturalización de las proteínas. (Minaeeres, 2016)

ACEITES Y GRASAS: Son compuestos orgánicos de naturaleza lipídica, formados por ácidos grasos de origen animal o vegetal, así como el de hidrocarburos del petróleo. Presentan baja densidad, poca solubilidad en agua y baja o nula biodegradabilidad, se encuentra formando natas o espumas en la superficie del agua, por lo que entorpece el tratamiento de las aguas es por ello que estas se deben eliminar en el pre – tratamiento de las aguas residuales. (Toapanta, 2009)

El efecto que tienen los aceites y grasas es que impiden el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, es decir no deja salir el CO₂ del agua ni que ingrese el O₂ atmosférico. Las principales contribuciones de A y G son las fuentes domésticas, talleres automotrices en general, industrias de carnes, derivados de lácteos, industria petrolera, etc. (Toapanta, 2009)

1.2.1.3.3 Parámetros Biológicos

En las aguas residuales se pueden encontrar microorganismos como: bacterias, virus, protozoos, helmintos, y algas. Su presencia representa un gran problema en la calidad de las aguas,

causan enfermedades en niños y adultos como cólera, disentería, diarrea, hepatitis A, fiebre tifoidea, etc. (OMS, 2022)

Según la Norma Técnica Nacional de ITINTEC, 1987, los microorganismos indicadores de la calidad de aguas son 3: Bacterias heterotróficas, coliformes totales y coliformes termotolerantes o fecales.

- **BACTERIAS HETEROTROFICAS:** las bacterias heterotróficas utilizan compuestos de carbono orgánico como fuente de energía y crecimiento, a diferencia de las autótrofas que utilizan compuestos inorgánicos. Las bacterias heterótroficas abundan en el agua tratada y de grifo, presentan gran capacidad de adaptación, son indicadores de la carga total bacteriana, viables a 37°C a 48hr de incubación, su conteo se expresa en UFC (GLASMACHER, ENGELHART, & EXNER, 2003), su presencia indica deficiencia o en el tratamiento de las aguas residuales.
- **COLIFORMES TOTALES:** son bacilos gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, presenta la peculiaridad bioquímica de fermentar la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído, en un rango de 35 – 37°C, en un tiempo de 24 – 48hr, son oxidasa negativa ya que no cuentan con el citocromo oxidasa, y presentan actividad β – galactosidasa (Mora, et al, 2003).

Según Díaz, et al, 2003, indican que la presencia de coliformes totales se debe de interpretar de acuerdo al tipo y características del agua. En aguas potables tratadas los coliformes totales deben estar ausentes en 85%, si se encuentran presentes no puede ser superiores de 2 – 3 coliformes (NMP/100ml). Los coliformes totales son indicadores de fallas en el tratamiento de las aguas residuales, y accionan los controles de calidad en la PTAR.

- **COLIFORMES TERMOTOLERANTES:** Se les denomina coliformes termotolerantes por la capacidad que poseen de tolerar temperatura más elevadas de los 37°C, a diferencia de los coliformes totales, otra denominación que tienen es la de coliformes fecales ya que se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente (homeotermos), su presencia en el agua refleja contaminación fecal. (Díaz, et al, 2003)

Los coliformes fecales o termotolerantes, sub grupo de los coliformes totales, tienen la característica de fermentar la lactosa a 44.5°C, son anaerobias facultativas, no esporuladas, gram negativas.. Alrededor del 95% de los C.termotolerantes se encuentran en heces de los organismos homeotermos, se encuentran especies como *Escherichia coli*, y en menor grado *Enterobacter*, *Shigella*, *Salmonella*, *Citrobacter* y *Klebsiella* (Mora, et al, 2003).

1.2.1.4 Tratamiento De Aguas Residuales Por Coagulación

PARTICULAS COLOIDALES

De acuerdo a la Tabla 1, Los coloides son partículas de muy bajo diámetro entre 1 – 1000 micrómetros a causa de esto presentan una muy baja sedimentación siendo responsables de la turbidez y color del agua.

Tabla 1

Tiempo de sedimentación de las partículas según su diámetro

Diametro de la partícula (mm)	Clasificación	Tiempo de sedimentación
10	Grava	0.3 seg
1	Árena gruesa	3 seg
0.1	Arena fina	38 seg
0.01	Sal	33 min
0.001	Bacterias	55 hrs
0.0001	Partículas coloidales	230 días
0.00001	Partículas coloidales	6.3 años
0.000001	Partículas coloidales	63 años

Nota: Distancia: 30cm, Vs: velocidad calculada de acuerdo a la Ley de Stokes (cm/s) suponiendo una densidad de 2.65 g/cm³ Fuente: (Pérez , 2005)

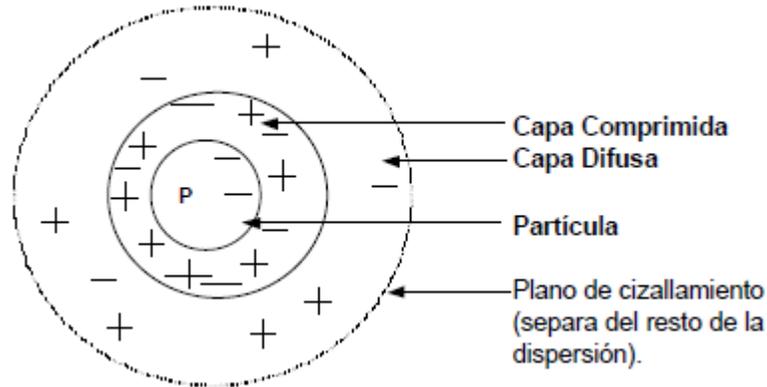
DOBLE CAPA ELECTRICA DE LOS COLOIDES

La doble capa eléctrica es la representación de como las partículas coloidales se estabilizan con la solución (agua) mostrando un gráfico o modelado entre el coloide y el seno del líquido. (Andia, 2000)

Las partículas coloidales poseen en su superficie una capa eléctrica cargada negativamente (aniones) llamada cargas primarias, estas cargas negativas atraen aniones positivos del agua (cationes) que se adhieren fuertemente a la superficie del coloide, a su vez estas cargas positivas atraen cargas negativas acompañados de una débil cantidad de iones positivos (Andia, 2000)

Figura 2

Modelo de la doble capa de una partícula coloidal



Nota: Se muestra las cargas que posee la partícula coloidal de Fuente: SEDAPAL, 2000

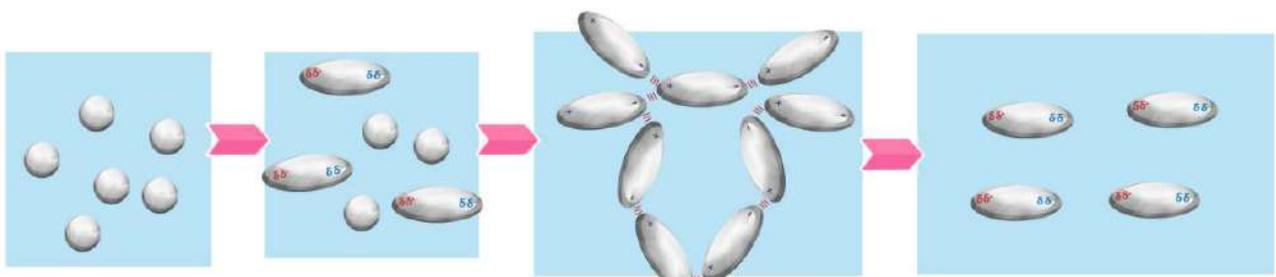
Los cationes que se unen fuertemente a la superficie del coloide forman la capa adherida o comprimida mientras que los aniones adheridos débilmente a la capa comprimida forman una capa difusa generando una gradiente electrostática entre el coloide y la solución (agua) denominándose como el potencial Zeta. (Andia, 2000)

FUERZAS DE ESTABILIDAD E INESTABILIDAD

- **FUERZAS DE VAN DER WALLS:** Son fuerzas de atracción débiles que mantiene unidas a moléculas eléctricamente neutras, estas fuerzas son independientes de la carga neta de las partículas coloidales, del pH u otras características de la fase acuosa, sin embargo, solo actúan en distancias pequeñas (Gómez, 2005)

Figura 3

Esquema de las fuerzas de Van der walls

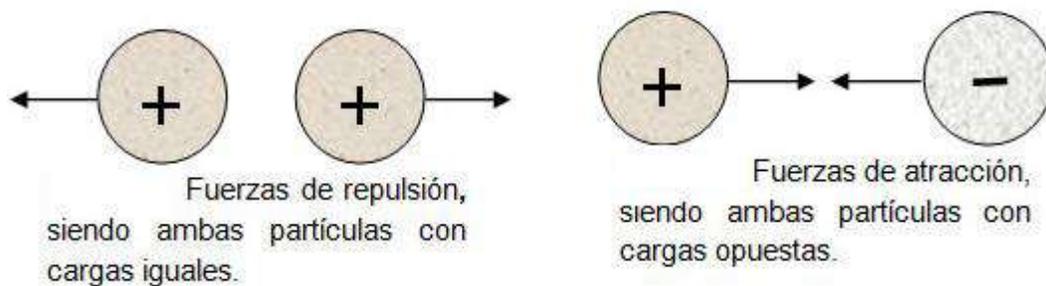


Fuente:http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1910/waals_postcard.jpg

- **FUERZAS DE REPULSION ELECTROSTATICA:** son fuerzas que impiden la conglomeración de las partículas cuando estas se aproximan unas de otras, la fuerza de repulsión enuncia que partículas del mismo signo se repelen, mientras que partículas del signo opuesto se atraen (Andia, 2000)

Figura 4

Repulsión y atracción de las partículas



Fuente: CienciAcierta pg;11

AFINIDAD DE LAS PARTICULAS COLOIDALES CON EL AGUA

Según la afinidad que tengas los coloides con el agua se caracterizan en hidrofílicos que tienen afinidad por el agua es decir se dispersan automáticamente con el agua rodeándose de moléculas de agua provienen de partículas de materia orgánica y las hidrofóbicas que no tienen afinidad con el agua, no se dispersan espontáneamente en el agua ni se rodean de moléculas de agua son partículas inorgánicas.

En la práctica las partículas hidrofílicas e hidrofóbicas son pocas por lo general existen partículas en diferentes grados de hidratación. (Andia, 2000)

PROCESO DE LA COAGULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

La mayoría de las partículas coloidales se encuentran cargados negativamente y se encuentran estables en el agua debido a la repulsión electrostática entre los coloides. Esta repulsión

electrostática sobrepasa a las fuerzas de atracción de Van der Waals debido a esto no se aglomeran, ni precipitan. (Lorenzo, 2006)

La coagulación es el proceso de desestabilización de las sustancias coloidales mediante la neutralización de las cargas eléctricas, inhibiendo las fuerzas de repulsión adicionando un coagulante y anulando el potencial zeta posteriormente los coloides desestabilizados se agrupan por acción de masas sedimentándose y separándose del agua formando un floc (Andia, 2000)

Las partículas a coagular provienen de:

- Minerales en disolución (suelo)
- Descomposición de materia orgánica
- Vertidos domésticos e industriales (Arboleda, 1982)

MECANISMOS DE LA COAGULACION

Los mecanismos de la coagulación son los siguientes:

COMPRESION DE LA DOBLE CAPA

Cuando se agrega el coagulante al agua se hidroliza con el fin de aumentar la concentración del electrolito en el agua de forma que se incrementa los iones de signo contrario a la capa difusa del coloide, comprimiéndola o neutralizando las cargas disminuyendo las fuerzas de repulsión y la distancia entre los coloides ya comprimidos, de manera que estos se unen mediante las fuerzas de Van der Walls

La coagulación se inicia cuando la distancia que separa las partículas es superior a L entonces las partículas no se repelen ni se atraen. (Ruiz , 2011)

ABSORCION Y NEUTRALIZACION DE LAS CARGAS

Los coloides presentan una carga negativa en su superficie llamadas cargas primarias que atraen a los iones negativos en la solución (agua) adhiriéndose y formando la primera capa

adherida o comprimida, los iones que rodean débilmente a esta capa forman la capa difusa originando una gradiente entre la partícula y la solución llamando potencial Zeta (Andia, 2000)

La neutralización ocurre al agregar el coagulante con carga positiva a la muestra de agua esta se absorbe comprimiendo o neutralizando a la partícula, sin embargo, si existe un exceso del coagulante esta se absorbe en la superficie de la partícula originando una carga invertida a la carga original (Ruiz, 2011)

RETENCION DE LAS PARTICULAS DENTRO DEL FLOC

Las partículas coloidales ya neutralizadas son atrapadas dentro de un floc, el floc está constituido por los sólidos que fueron separados del agua y los sólidos del coagulante agregado, la eficacia de la coagulación se registra mediante la formación del floc, su rapidez, su crecimiento y sedimentación. (Gil, 2021)

FACTORES DE INFLUENCIA EN LA COAGULACION

POTENCIAL DE HIDROGENIONES (pH)

El pH mide la alcalinidad o acides de una disolución mediante la concentración de hidrogeniones (ion positivo), mediante la fórmula: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ (HANNA, 2020)

El pH es la variable más importante a considerar al instante de la coagulación, para cada tipo de agua residual existe un rango de pH optimo en la cual la coagulación se da de forma eficiente, El intervalo del pH se encuentra en función del tipo de coagulante y la naturaleza del agua a tratar, que dependerá de la naturaleza de los iones y alcalinidad del agua.

Si la coagulación sucede fuera del pH optimo, se tendrá que incrementar la cantidad de coagulante (dosis altas), cuando se empleen sales de aluminio (sulfato de aluminio) el pH adecuado esta entre 6.5 – 8.0, para sales de hierro (sulfato de hierro) se encuentra en 5.5 – 8.5. (Andia, 2000)

TEMPERATURA

La variación en 1°C de la temperatura del agua a tratar genera la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua), que afectan la energía cinética de las partículas en suspensión (coloides), aumentando el tiempo de coagulación causando que el proceso se realice más lento, de la misma forma temperaturas elevadas perjudican la coagulación.

Cuando la temperatura del recurso merma en la unidad de decantación, donde ocurre el proceso de la coagulación – floculación se generará el aumento de la viscosidad, complicando el desarrollo normal de la sedimentación (flocs) (F&N, 2019)

CONCENTRACION DE DOSIS DE COAGULANTE

Un papel importante en el tratamiento de las aguas residuales es la selección del tipo de coagulante y su dosis requerida que influirá en el recurso tratado, la concentración óptima de dosis de coagulante se establece mediante test de jarras. (F&N, 2019)

Añadir poca cantidad de coagulante no neutraliza por completo la carga de la partícula ocasionando que los microfloculos (flocs) sean muy escasos por lo tanto la turbiedad residual es elevada

Cantidades altas de coagulante crean sobresaturación de la solución, y la inversión de la carga de la partícula llevando a la formación de grandes cantidades de microfloculos de tamaños muy pequeños, cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, generando una turbiedad residual alta. (Andia, 2000)

TIPOS DE COAGULANTES

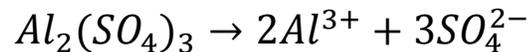
Los coagulantes pueden clasificarse en inorgánicos, sintéticos y orgánicos

COAGULANTES INORGANICOS

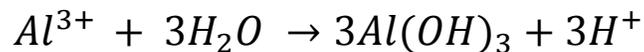
Son de origen metálico y los más utilizados en el tratamiento de aguas residuales particularmente en aguas crudas de baja turbiedad, estos coagulantes inorgánicos reaccionan con la alcalinidad y se hidratan para formar precipitados de hidróxido metálico (OH) actuando como floculante de barrido sin embargo estos precipitados tienden a aumentar el volumen del lodo, reducen la densidad general y la capacidad de deshidratación del lodo (Huerta, 2022)

MECANISMO DE ACCION DEL COAGULANTE INORGANICO SULFATO DE ALUMINIO

Cuando el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ se agrega agua ocurre la disociación separándose en iones aluminio e iones sulfato:



Los iones de aluminio (Al^{3+}) y los iones de sulfato (SO_4^{2-}) quedan en solución acuosa. En presencia de agua, los iones de aluminio reaccionan con las partículas coloidales. La reacción general es la siguiente:



La reacción conduce a la formación de hidróxido de aluminio $3Al(OH)_3$, como sustancia gelatinosa que actúa como floculante, aglutinando las partículas suspendidas y coloidales en el agua para formar flóculos más grandes en una red que puede sedimentar, dependiendo del pH del agua se forman especies coloidales libres en solución de esta forma la reacción del coagulante está mediada por el pH y temperatura del agua. (Ramirez, 2023)

Aunque el aluminio es utilizado como coagulante para eliminar partículas suspendidas y coloidales, es posible que una fracción de este permanezca en solución o forme compuestos coloidales. Este aluminio residual puede estar presente en niveles bajos en el agua tratada y se va acumulando en concentraciones altas que posteriormente son difíciles de eliminar del lodo residual (Ramirez, 2023). Según FLATEN, 2001 la desventaja según estudios epidemiológicos y bioquímicos sugieren una posible conexión entre la neurotoxicidad del aluminio y la patogenesis del Alzheimer de forma que se busca otras alternativas aceptables al medio ambiente

COAGULANTES ORGANICOS

Son considerados una fuente alternativa con elevado potencial por ser biodegradable, reduciendo la generación de lodos y sin causar daños en el medio ambiente.

La gran mayoría de los coagulantes orgánicos son de origen vegetal (cactáceas, maíz, moringa, cáscaras de café y plátano, etc) con la presencia de agentes activos como los carbohidratos, taninos y proteínas aglomerando las partículas en suspensión que contienen el agua a tratar, facilitando su sedimentación reduciendo la turbiedad inicial (Yin, 2010)

El coagulante natural de origen animal más estudiado es el quitosano polímero obtenido del exoesqueleto de los crustáceos (gambas, cangrejos, langostinos, etc) proveniente de la quitina se utiliza en combinación con otros compuestos como la bentonita u otro coagulante natural (cáscaras de naranja) y por su capacidad antimicrobiana con hongos, bacterias (Campo et al, 2018)

COAGULANTES ORGANICOS SINTETICOS

Son polímeros orgánicos derivados de materia prima como el petróleo (acrilamidas, ácido acrílico) poseen gran tamaño molecular y carga eléctrica neta, se utilizan en pH elevados con combinación con coagulantes inorgánicos, poseen elevado precio (Suopajarvi et al., 2013)

FLOCULACIÓN:

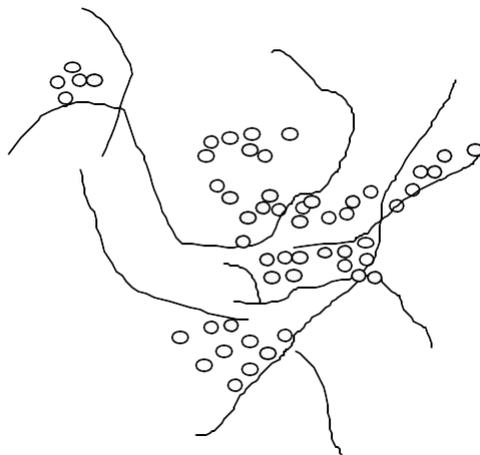
Es la segunda etapa del tratamiento de aguas por coagulación- floculación, los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy altos que facilitan la formación de floculos como puentes captando las partículas en suspensión en agitación mínima para no romper los floculos formados. (Rivas et al, 2017)

Esta fase consiste en el crecimiento aglomeración de los floculos recién formados (flocs) como puente entre las partículas coloidales aglomeradas con el propósito de aumentar su tamaño y peso para que sedimenten con facilidad por medio de la agitación suave y lenta de la masa coagulada (Andia, 2000)

Sin embargo ocurre que los floculos formados no sean demasiado grandes para su sedimentación o presentan una sedimentación lenta por lo que se utiliza un floculante que ayude a reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra aglomerando las partículas coloidales coaguladas individuales.

Figura 5

Formación del puente entre las partículas coloidales aglomeradas



Fuente: SEDAPAL, 2000

TIPOS DE FLOCULANTES:

FLOCULANTES INORGANICOS:

Tenemos a la sílice activada, que fue el primer floculante utilizado, su preparación es delicada ya que tiene el riesgo de gelatinizarse, se incorpora generalmente después del coagulante y se prepara neutralizando parcialmente la alcalinidad del silicato de sodio.

FLOCULANTES ORGANICOS NATURALES:

Son polímeros de origen animal o vegetal como los alginatos obtenidos de algas marrones cuya estructura polimérica son: ácido manurónico y ácido gluconico o los almidones (Andia, 2000)

FLOCULANTES ORGANICOS SINTETICOS:

Son polímeros lineales de elevado peso molecular solubles en agua utilizados en concentraciones pequeñas y poseen grupos activos distribuidos en su cadena estos pueden ser no iónicos (poliacrilamidas desarrolladas por polimerización de la acrilamida bajo la acción de catalizadores de oxidación), iónicos o polielectrolitos (poliacrilamidas parcialmente sustituidas con grupos aminos cuaternarios) y los copolímeros, de acuerdo a Servyeco, 2020 el uso de coagulante floculantes sintéticos se lleva a cabo por industrias como la textil, donde se aplica para remover tintes sintéticos, en la papelería, alimentaria e industrias con aguas residuales con alta carga de sólidos y contaminantes sintéticos.

La desventaja que tiene estos floculantes son su elevado costo, difícil acceso y estructura química compleja y no muy conocida. (García et al , 2006)

MODELOS DE FLOCULACION

FLOCULACION PERICINETICA

Se genera por el movimiento natural de las moléculas del agua y es causado por la energía térmica del fluido es más conocido como el movimiento browniano

FLOCULACION ORTOCINETICA

Ocurre por las colisiones de la partícula que se desarrolla por el movimiento del agua, que es inducido por una energía externa a la masa del agua, que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Luego de la coagulación para que ocurra la aglomeración de los microfloculos primero se lleva a cabo la floculación pericinetica continuado por la floculación ortocinetica (Andia, 2000)

1.2.2 Mucilago De Opuntia ficus indica - Tuna

1.2.2.1 Taxonomía De La Tuna

La denominación que le dan a la tuna varía y depende del país donde se cultiva, así por ejemplo es conocida como nopal (México), chumbera (España) e higo o tuna (Colombia, Chile y Perú). La tuna pertenece al género *Opuntia*, de la familia de las cactáceas especie *Ficus*.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Opuntioideae

Género: *Opuntia*

Especie: *ficus - . indica(L) Miller, 1768*

1.2.2.2 Descripción Botánica De La Tuna

- **RAÍZ:** La tuna tiene un sistema radicular superficial y carnoso que se distribuye horizontalmente, que depende del tipo de suelo y manejo del cultivo (Snyman, 2005). En suelos favorables se desarrolla una raíz pivotante que penetra hasta aproximadamente 30cm de profundidad, en sequía (zonas áridas o semiáridas) se desarrollan raíces suculentas derivadas de la raíz pivotante, para absorber mayor humedad a profundidades mayores. (North y Nobel, 1992).
- **TALLO DE LA TUNA:** Es arborescente de 3 a 5m de alto, presenta un tronco leñoso que llega a medir entre 20 a 50cm de diámetro. A diferencia de otras especies de cactáceas, el tallo presenta un tronco y ramas aplanadas que poseen cutícula gruesa de color verde con función fotosintética (CAM) y de almacenamiento de agua. En Perú desarrollan portes de entre 1.5 a 2 metros de altura. (Amaya, 2009)

Figura 6

Tuna adulta con los cladidos formando el tallo y dando origen a los frutos



Fuente:<http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>

- **RAMAS DE LA TUNA:** Las pencas o cladiodos, que miden entre 30 y 60 cm de largo por 20 a 40 cm de ancho y 2 a 3 cm de espesor, exhiben una tonalidad verde opaca con areolas portadoras de espinas en tonos amarillo pálido. A través de la fotosíntesis CAM, los cladiodos convierten la luz en energía química, presentando una cubierta cuticular lipídica con estomas que operan cerrados durante el día para evitar la deshidratación por calor. Para mantener su hidratación, los cladiodos almacenan hasta un 95% de agua en forma de mucílago (Amaya, 2009)
- **LAS HOJAS:** Se encuentran modificadas en cladiodos internos, transformadas en espinas en forma de garra, engrosadas en la base con función de defensa y evitar la pérdida de agua. En las pencas se encuentran las axilas donde se hallan las aréolas donde brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud. (Amaya, 2009)

Figura 7

Cladiodos de tuna donde se encuentran las areolas y espinas.

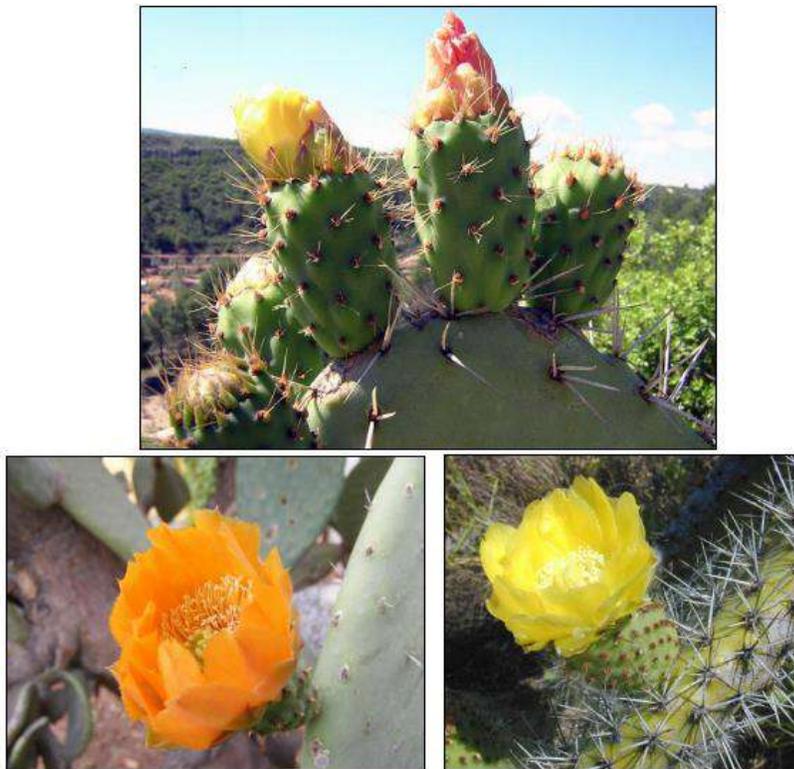


Fuente:<http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>

- **FLORES:** Se ubican en la parte superior de la penca, son solitarias de 6 a 7 cm de longitud, las areolas producen por lo general una flor en diferentes épocas del año unas el primer año otras el segundo y sucesivamente. Después de su brotación las flores se abren a los 35 a 40 días, los pétalos de las flores son de colores vivos rojo, rosa, amarillo, anaranjado y los sépalos son numerosos de amarillo claro a rojizo o blanco. (Amaya, 2009)

Figura 8

Flores y diversidad de colores de la Tuna



Fuente:<http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>

- **EL FRUTO:** Es una baya polisperma (con varias semillas) con forma ovoide esférica de color verde y toma diferentes tonalidades cuando madura, son comestibles, agradables y dulces; la pulpa es gelatinosa conteniendo numerosas semillas, sus dimensiones y coloración varían según la especie; presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud. (Amaya, 2009)

Figura 9

Coloración del fruto de la tuna



Fuente:<http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20ODE%20TUNA.pdf>

1.2.2.3 Mucilago De La Tuna:

Los mucilagos son hidrocoloides, de naturaleza viscosa, amorfa y compleja, formado por polisacáridos (Guandique, 2002). Se localizan en altas concentraciones en hojas, tallos (cladiodos) y frutos (Juice, 2015), presentan una alta concentración de grupos hidroxilo que le confiere la capacidad de retención de agua. (Fang, 2014)

El mucilago al entrar en contacto con el agua se hincha, presentando propiedades tensioactivas, dándole al mucilago la habilidad de precipitar partículas e iones de soluciones acuosas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCILAGO DE TUNA

El mucilago de la tuna, se encuentra dentro de las células o libres en el espacio intracelular del tejido parenquimático y clorenquimático de las pencas o cladidos de la tuna, tiene la capacidad de formar una red molecular y retener una gran cantidad de agua, con una función de almacenamiento de agua y nutrientes (Cortina, 2020). Según Ljujori, et al, (2020) el mucilago de nopal está constituido por más de un tipo de monosacáridos (heteropolisacáridos), con estructura ramificada. Es un carbohidrato complejo formado por más de 55 azúcares residuales que incorporan en su estructura L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico (Contreras, et al, 2016)

Los azúcares más abundantes tienen cinco o seis átomos de carbono y son los siguientes: 24,6 - 42,0% de arabinosa, 21 - 40,1% de galactosa, 8,0 - 12,7% de ácido galacturónico, 7,0 - 13,1% de ramnosa, 22,0 - 22,2 % de xilosa; además contiene fructosa, sacáridos y maltosa (Quispe 2012)

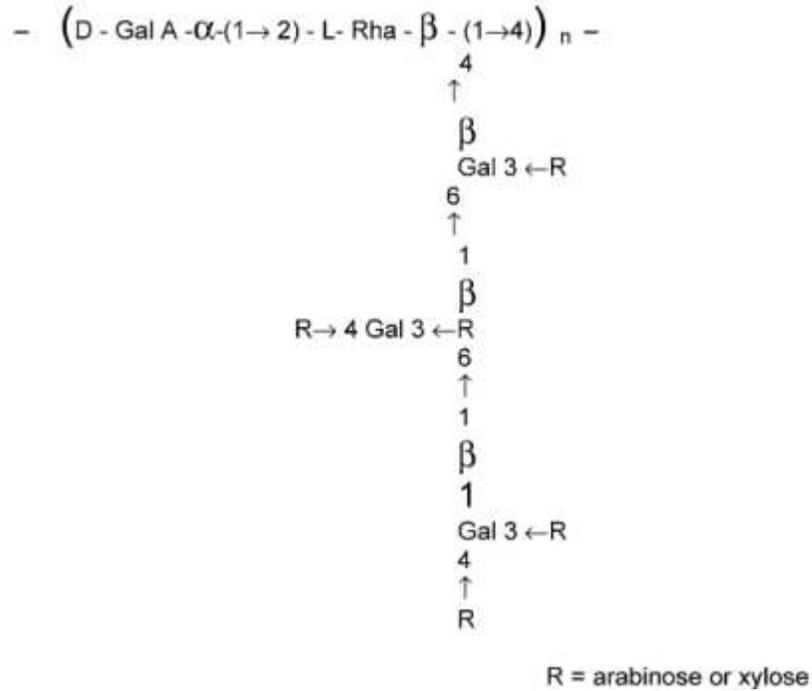
Según McGarvie y Parolis en 1981 hallaron que el mucilago de tuna se encuentra compuesto por polisacáridos altamente ramificados, considerando una estructura de ácido α -D-galacturónico unidas 1 \rightarrow 2 a unidades de β -L-ramnosa enlazadas 1 \rightarrow 4 con ramificaciones en el C-4, las ramificaciones de oligosacáridos de galactosa las cuales llevan L-arabinosa y D xilosa como sustituyentes.

El mucilago de tuna presenta propiedades visco – elásticas (hidrocoloide), que son producto de su compleja estructura ramificada, estudios recientes demostraron altas interacciones moleculares entre los monosacáridos, un ejemplo es su alta cantidad de puentes de hidrógeno presentes entre sus grupos hidroxilos libres. La propiedad de viscosidad varía con la temperatura,

a mayor temperatura la viscosidad disminuye y a menor temperatura la viscosidad aumenta (Cortina , 2020)

Figura 10

Propuesta de la estructura parcial del mucilago de tuna



Fuente: Sáenz. et al, (2004)

La relación de los monómeros en la molécula cambia según factores de la planta como: la variedad, edad, condiciones ambientales, tipo de extracción y la parte de la extracción (fruto, cladiodo) (Abraján, 2008)

El peso molecular del mucilago de la tuna varía según los investigadores debido al métodos de extracción utilizado y la posibilidad de contaminación. De acuerdo a Trachtenberg & Mayer, 1981 hallaron el PM de $4,3 \times 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ PM de $3 \times 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ y Cárdenas, et al. 1997 un valor de $2,3 \times 10^1 \text{ g mol}^{-1}$

MUCILAGO DE *Opuntia ficus – indica* (TUNA) COMO COAGULANTE

Según Ojeda en 2012, los coagulantes de origen natural que tienen buen rendimiento e importancia para el tratamiento de aguas residuales son los que tienen compuestos alginicos, los derivados del nopal, almidones y semillas de algunas plantas.

Los polímeros de origen natural por lo general no presentan toxicidad o tienen una mínima toxicidad, se añade a este factor las condiciones económicas actuales de muchos países. Buscando alternativas de tratamiento de aguas residuales basadas en el uso de coagulantes naturales (Rodriguez, et.al, 2007).

Vaca-Mier, et.al (2014) resalta como alternativa el uso del polvo de nopal como coagulante natural de bajo costo, gran efectividad y sin efectos nocivos al medio ambiente, que complementado con procesos de desinfección representaría una alternativa al tratamiento de aguas negras. Villabona, et.al en 2013 removio 50% del color y 70% de turbidez en aguas crudas utilizando material extraido de *Opuntia ficus – indica*, sin afectar el pH del agua, como alternativa a los coagulantes inorgánicos.

González, en 2019 pudo remover metales pesados de las muestras de aguas con respecto al mucilago de la tuna, le atribuye dicha propiedad al alto contenido de proteínas y acidos uronicos que presenta grupos carboxilos, carbonilos e hidroxilo.

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

2.1. MATERIALES

MATERIAL BIOLÓGICO

- Pencas de *Opuntia ficus - indica* (Tuna)

MATERIAL DE CAMPO

- Agua residual de la laguna de estabilización de Querapata
- Cámara fotográfica
- Dispositivo GPS
- Etiquetas de identificación
- Recipientes de plástico, vidrio
- Bolsa de gel de hielo - Ice gel packs
- Caja térmica de tecnopor - Cooler
- Saco de yute
- Libreta de campo
- Lápiz, lapicero o plumón marcador
- Tijeras, Cuchillas o cúter
- Caja de plástico de capacidad de 5L y 2L
- Mandilones o equipo de protección personal
- Botas de jebe
- Frascos para obtención de muestras (bidones de 4lt)
- Gafas de seguridad
- Guantes

- Barbijos o cubrebocas

MATERIAL DE LABORATORIO

EQUIPOS

- Horno o estufa (TRAMET)
- Centrifugadora
- Refrigeradora (LG GR282SYF)
- Balanza analítica (JR M&D)
- Termómetro de mercurio (ISOLAB)
- Turbidímetro (EZDO TUB – 430)
- Equipo multiparámetro (HANNA HI98195)
- Trituradora o licuadora de 1.25Lt
- Cocina o primus
- Agitador magnético (INTILAB™)

REACTIVOS

- Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (QUIMICOS GOICOCHEA SAC)
- Guantes de nitrilo o látex
- Mortero de porcelana
- Baguetas de vidrio
- Fiola de 50mL
- Termómetro ambiental
- Espátula
- Vasos de precipitados de 1L
- Probeta

- Matraz Erlenmeyer
- Mandil
- Barbijos
- Gradillas
- Placas Petri
- Ollas de metal con capacidad de 5L
- Agua destilada
- Alcohol etílico 90° o isopropílico 70°

MATERIAL DE GABINETE

- Computadora
- Software estadístico Minitab, otros.

2.2. PROCEDENCIA DE LAS PENCAS DE *Opuntia ficus – indica* (TUNA)

La recolección de las pencas de *Opuntia ficus-indica* - tuna se realizó en el lugar de Ollantaytambo, exactamente en la vía de evitamiento de Ollantaytambo en el punto detrás de la Urb. Mascabamba

Tabla 2

Coordenadas del lugar de recolección de las pencas de tuna

UBICACIÓN	ZONA	COORDENADAS		msnm
		Latitud	Longitud	
01	18L	-13.263382	-72.261562	2851

Fuente: Googlemaps

Figura 11

Recolección de las pencas de tuna, vía de evitamiento Ollantaytambo – detrás de la urb. Mascabamba



Fuente: Googlemaps

2.3. UBICACIÓN DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE QUERAPATA

El distrito de Chinchero cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización antes conocida como laguna de oxidación. Este sistema comprende de 02 lagunas contiguas distribuidas en serie, la antigüedad de las lagunas de estabilización es de más de 25 años. Este sistema de lagunas no cuenta con cerco perimétrico, rejas para separar material grande, medidor de caudal, o algún tipo de infraestructura básica, no cuenta con personal de operación. (CONSORCIONORTE, 2014)

Tabla 3*Estado de la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero*

Tipo De Laguna	Dimensiones	Estado De La	Material De La
	(m)	Infraestructura	Laguna
Serie 1	40 x 30	Malo	Tierra
Serie 2	25 x 20	Malo	Tierra

Fuente: Consorcio Norte, 2014

Las muestras de aguas residuales se obtuvieron de la laguna de estabilización de Querapata, ubicada en el margen izquierdo de la carretera Cusco – Urubamba, al costado de la carretera detrás del grifo San Gregorio. La laguna de estabilización de Querapata se encuentra en las siguientes coordenadas.

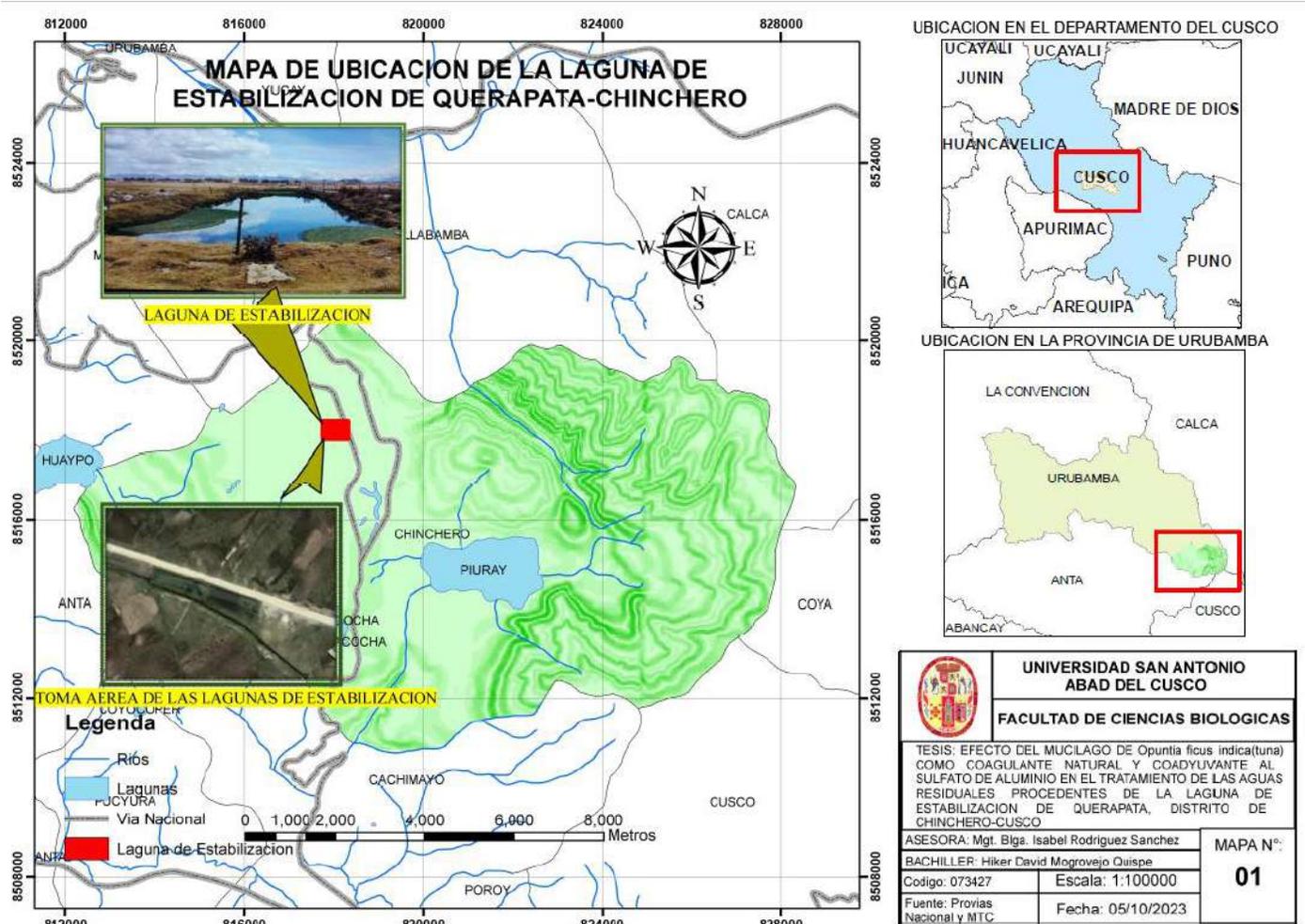
Tabla 4*Coordenadas de la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero*

Ubicación	Zona	Coordenadas		msnm
		Latitud	Longitud	
02	18L	-13.388846	-72.059956	3765

Fuente: Googlemaps

Figura 12

Ubicación de la Laguna de Estabilización de Querapata



Nota: Se observa la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero, lugar de donde se obtendrán las aguas residuales para la investigación.

2.4. METODOLOGÍA

El estudio realizado se enmarca en una investigación de tipo experimental, que busca examinar el efecto del mucilago de las pencas de *Opuntia ficus - indica* (tuna) como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la laguna de estabilización de Querapata, Chinchero, donde se llevó a cabo la manipulación deliberada de las variables independientes para determinar su influencia sobre las variables dependientes y establecer la relación de causa y efecto.

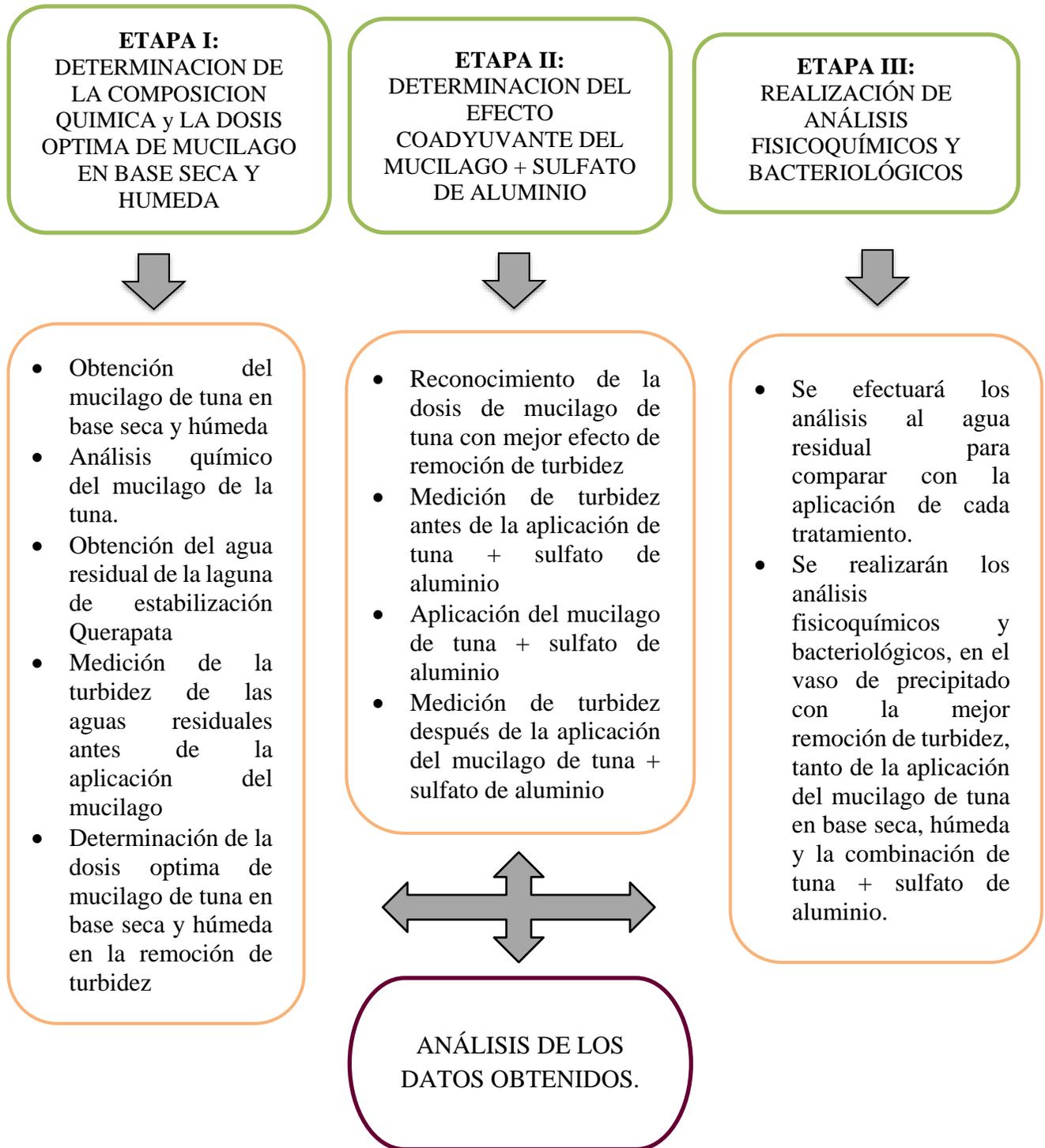
Tabla 5

Identificación de las variables en la investigación

Efecto del mucilago de tuna como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio	
Variables Independientes	Dosis de mucilago de tuna en base seca Dosis de mucilago de tuna en base húmeda Dosis de tuna + Dosis de sulfato de aluminio
Variables Dependientes	Remoción de turbidez

Figura 13

Flujograma de la investigación.



Debido a la situación de emergencia por la Covid-19 y las restricciones de acceso a los laboratorios de la Facultad de Biología de la UNSAAC, se seleccionó el laboratorio Vida Sana como lugar de trabajo para la investigación. Este laboratorio ofrece la disponibilidad de equipos, materiales y espacio necesarios para llevar a cabo las actividades relacionadas con la obtención del mucílago de tuna en base seca y húmeda, la medición de turbidez, la dosificación de la dosis de tuna y la combinación con sulfato de aluminio. Además, cuenta con las precauciones de bioseguridad necesarias para el almacenamiento seguro de las muestras

Los análisis químicos para el mucílago de tuna en base seca y húmeda serán enviados al laboratorio del departamento de química de la UNSAAC.

Los análisis fisicoquímicos serán trasladados y analizados en el laboratorio en aguas, suelos, minerales y medio ambiente MC QUIMICALAB

Los análisis bacteriológicos serán dirigidos y analizados por el laboratorio microbiológico MICROLAB. Se destaca que los laboratorios cuentan con acreditación por parte de la DIRESA.

2.4.1 Determinación de la Composición Química y la Dosis Óptima del Mucílago de Tuna en Base Seca y Húmeda.

PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCILAGO DE TUNA EN BASE SECA Y HÚMEDA.

2.4.1.1 Análisis Químico del Mucílago de Tuna

ANÁLISIS QUÍMICO BROMATOLÓGICO PROXIMAL DE HENNEBERG Y STOHMANN (1867)

El análisis bromatológico proximal, también conocido como análisis de Weende, es una técnica utilizada para determinar la composición química de los alimentos. Se basa en descomponer el alimento en sus componentes principales, como humedad, grasa, fibra, ceniza,

carbohidratos solubles y proteínas, para evaluar su valor nutricional y propiedades físicas y químicas. En el caso del mucílago de tuna, este análisis nos brindara información sobre su idoneidad como coagulante en el tratamiento de aguas residuales, así como su interacción con otros compuestos en el proceso de clarificación del agua. Es una herramienta fundamental para comprender y aplicar de manera efectiva el mucílago en diferentes procesos.

Tabla 6

Componentes del análisis químico del mucilago de tuna

PARAMETRO	METODO UTILIZADO	MEDIDA	NORMA
Humedad	Dsecación por estufa (horno)	%	AOAC 964.22
Proteína Total	M. de Kjeldahl	%	AOAC 955.04
Lípidos Totales	M. de Soxhlet	%	AOAC 920.39
Carbohidratos Totales	Diferencia de los % de cada nutriente, M. Fehling, fenol – sulfúrico, etc.	%	
Fibra Cruda	M. Gravimétrico, enzimático.	%	AOAC 962.09
Cenizas	Calcinación a 550°C y gravimétrico	%	AOAC 942.05

Fuente: Official Methods of Analysis of AOAC International

Nota: Los componentes analizados del analisis fisicoquimico, no varian en su resultado debido al tipo de suelo, clima, etc. la variacion dependera del tipo de penca de tuna, recoleccion, edad y metodo de extraccion del mucilage dela tuna.

2.4.1.2 Obtención del Mucilago de Tuna en Base Seca

RECOLECCION DE LAS PENCAS DE *Opuntia ficus – indica* (tuna)

Se recolecto las pencas de tuna de acuerdo a los siguientes criterios:

- Pencas de tuna de 2 a 3 años de edad.
- La recolección se realizó en horas de la mañana debido al metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) que presentan, según Sepúlveda, et al, 2007
- Se realizaron 02 recolecciones de las pencas de tuna para la obtención de mucilago en base seca y mucilago en base húmeda.

Para la obtención del mucilago de *Opuntia ficus – indica* (tuna) en base seca se realizó los siguientes pasos, según el método revisado de Silva, 2017, con algunas adaptaciones según los recursos y materiales disponibles en el laboratorio.

- **SELECCIÓN:** La selección de las pencas de tuna se realizó en el trabajo de campo en la recolección de tuna, con las indicaciones según Sepúlveda, et al, 2007.
- **ACONDICIONAMIENTO:** Se trasladó las pencas de tuna al laboratorio, se realizó el acondicionamiento con el lavado con agua destilada, utilizando guantes y un paño con mucho cuidado de las espinas. Se extrajeron las espinas con pinzas, debidamente acondicionado se dejó secar al aire libre.
- **PESADO:** seguido a el secado de las pencas de tuna, se prosiguió a pesar en balanza analítica digital con soporte de 10kg. Se pesó cada una de las pencas de tuna con cutícula antes del pelado y después del seccionado
- **PELADO:** posterior al pesado, para la manipulación de las pencas de tuna se prosiguió al pelado de la cutícula y epidermis de las pencas con un pelador de cuchilla afilado que tenga

mínima apertura para aprovechar la mayor cantidad de colénquima y parénquima lugar donde se almacena el mucilago.

- **SECCIONADO:** Mediante una hoja afilada de acero inoxidable (cuchillo) se despedazo las pencas de tuna en cuadrados de aproximadamente 1cm para su mejor manipulación y preservación.
- **TRITURADO:** Para la trituración se cogió partes iguales en peso de las pencas de tuna seccionadas y volumen de agua destilada 1:1, (w:v), para obtener el mucilago de las pencas de tuna, se utilizó un aparato electrónico, con motor eléctrico que hace girar las cuchillas de acero inoxidable para una trituración homogénea.
- **EXTRACCION DEL MUCILAGO:** Esta fase de la investigación es crucial, con el propósito de obtener la mayor cantidad de mucilago de la penca de tuna, se utilizó la extracción liquido – liquido. A la materia triturada en el paso anterior denominada disolución (mucilago que se desea separar), se le adiciono agua destilada (disolvente de extracción) que se utilizó para separar el componente deseado en relación de 1:3 (1 de material triturado:3 agua destilada), reposando por un periodo de 24 horas.

Después de esperar el tiempo de reposo de 24 horas se somete la muestra a temperatura de 60 – 65°C en estufa eléctrica ajustable, por un periodo de 2h (escaldado, pasteurizado), este paso importante para recuperar la mayor cantidad de mucilago en la fase acuosa, inactivación enzimática, eliminación de patógenos y alargar la vida útil del mucilago, se deja reposar la muestra por un periodo de 4-6 horas, con el propósito de que sedimenten las fibras, tejido, etc.

- **FILTRADO:** Se procede a separar los restos de pulpa, espinas y fibra, mediante la filtración: en colador de malla fina con tamices de acero inoxidable de 2.8 pulgadas seguido

de una segunda filtración en gasa de algodón hidrófila y una tercera con papel filtro para separar impurezas que hayan pasado el primer y segundo filtro, y así poder obtener el líquido mucilaginoso libre de impurezas.

- **CENTRIFUGADO:** Se prosigue con la centrifugación en 02 centrifugadoras a 3500 rpm, en un tiempo de 20min, en tubos de ensayo pírex y borosilicato de 35 ml de volumen (18x180mm), para eliminar y decantar células, epitelios, fibras y material particulado (mermas) que hayan cruzado la filtración.
- **CONCENTRACION:** Con el propósito de concentrar la muestra de mucilago obtenido en base húmeda, y reducir el volumen de agua destilada del post centrifugado a la mitad o 3/4 de la solución, se somete la muestra a Baño María a una temperatura constante de 75°C durante un tiempo de 12 horas, adaptando la estufa eléctrica, olla de aluminio Nro 22 que no altera la propiedad del mucilago por ser de material neutro y frascos de borosilicato.
- **PRECIPITACION:** El mucilago obtenido después de la concentración será insolubilizado con alcohol etílico (etanol) de 96° en proporción de 3:1 (alcohol 3: concentrado del mucilago 1), con el fin de que el polímero (mucilago) precipite, sedimento de la fase acuosa y sustraer la mayor cantidad de clorofila de la muestra para obtener un mucilago más claro, se dejará reposar la muestra por un lapso de 24 horas, después del tiempo cumplido se disociara la muestra con lentitud hasta aproximadamente 3/4.
- **SECADO:** Después de separada la muestra a 3/4 del mucilago precipitado esta se coloca en placas Petri o refractario de vidrio de borosilicato que se asemeja a una placa Petri, el secado se realizó en horno de laboratorio a calor seco a una temperatura de 70°C, con seguimiento de cada 15min hasta conseguir un secado, color y peso constante.

- **MOLIENDA Y ENVASADO:** Antes del envasado se somete el mucilago obtenido en base seca a una extracción manual de las placas y el refractario, seguidamente de la molienda en mortero de porcelana hasta conseguir un mucilago de polvo fino y ser envasado en frascos estériles de vidrio.

2.4.1.3 Obtencion del Mucilago de Tuna, en Base Humeda

El mucilago de tuna en base húmeda, se obtuvo siguiendo el método aplicado por Quispe, (2012), el proceso de obtención involucro las siguientes operaciones:

- Acondicionado: lavado de las pencas y el retiro de las espinas
- Pesado de las pencas
- Pelado del epitelio de las pencas de tuna
- Seccionado de las pencas de tuna en cuadrados de 1cm
- Extracción solida – liquido del mucilago de tuna en base húmeda mediante reposo de la penca seccionada en agua destilada por 24 horas en relación de 1:1. El agua destilada actúa como solvente permitiendo que los componentes solubles del mucilago se disuelvan en ella, a medida que el mucilago se hidrata se forma una solución gelatinosa
- Filtrado para separar los componentes fibrosos.
- Envasado en vidrios de borosilicato (B_2O_3) de 450ml
- Almacenado a refrigeración a $5^{\circ}C$ o en congelamiento $18^{\circ}C$ bajo cero, para su uso posterior.

PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS OPTIMA DEL MUCILAGO DE TUNA EN BASE SECA Y HÚMEDA SE APLICARÁ LA SIGUIENTE METODOLOGÍA:

2.4.1.4 Metodo del Test De Jarras

La metodología empleada para el test de jarras en la investigación se basó en la norma ASTM D2035:08, *Standart Practice for Coagulation – Flocculation Jar Test Water*.

La norma ASTM D2035:08, establece, mediante un ensayo de laboratorio determinar la dosis optima de reactivo químico a utilizar con el objetivo de disminuir, el material disuelto, sólidos en suspensión, partículas coloidales (material difícil de sedimentar) y remover color, turbiedad, DBO, DQO, SST, Coliformes totales, T°, pH y metales que se encuentran en las aguas residuales, mediante el ensayo de coagulación – floculación y sedimentación. Adicional permite evaluar los efectos positivos y negativos de las concentraciones de los coagulantes y floculantes. (ICONTEC, 2010)

PROCEDIMIENTO DEL TEST DE JARRAS:

- Recolectar la muestra de agua a analizar en el test de jarras, de acuerdo a lo establecido por DIGESA, 2007
- Cuantificar, medir los volúmenes de la muestra de agua residual en cada uno de los recipientes, los volúmenes deben ser iguales en todos los recipientes de 2000ml, mínimo un volumen de 1000ml (ICONTEC, 2010)
- Ubicar el agitador magnético, en un lugar donde no haya variaciones de temperatura, sin mucho flujo de aire, en un lugar liso con claridad de luz.
- Colocar el agitador magnético, ubicando el recipiente en el medio, con el cronometro a la mano para tener los tiempos constantes.
- Registrar o analizar la temperatura y turbidez antes del ensayo

- Pesar los reactivos químicos a adicionar en cada recipiente del ensayo, para mezclas líquidas ingresar el reactivo químico en movimiento circular.
- Accionar el agitador magnético para la homogenización de la muestra, junto con el cronometro, la velocidad y tiempo de homogenización serán menor que la de mezcla con el reactivo.
- Cumplida la homogenización de la muestra, se accionará el agitador magnético a velocidad de agitación de mezcla adicionando el reactivo químico, junto con el cronometro para no sobrepasar el tiempo de mezcla.
- Transcurrido el tiempo de mezcla, se acciona a disminuir la velocidad del agitador magnético para mantener las partículas del floc suspendidas llamado mezclado lento, sin dejar de registrar el tiempo en el cronometro.
- Posterior del mezclado lento, se retirará el recipiente a una lugar plano o liso, se observará el asentamiento de los floculos, para la investigación se tomó un tiempo de 24 horas para el asentamiento del floculo.se dejo en un lugar libre de brisa y donde no haya incidencia de rayos solares. (ICONTEC, 2010)
- Luego del tiempo de sedimentación, 24 horas, se evaluará los parámetros de T°, turbiedad, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos según el D.S.003-2010-MINAM.

ITEMS MODIFICADOS DE LA NORMA

- Se considera para la investigación, modificar los tiempos y velocidades de agitación diferentes para la homogenización de la muestra, mezcla y formación de floc. Se considera los mismos tiempos y velocidades en las diferentes corridas o tratamientos.
- Con el propósito de la investigación se utilizó material biológico (mucilago de tuna) como coagulante y obtener y los parámetros de respuesta.

- Por temas de presupuesto, accesibilidad y licencia del equipo, se utilizará un agitador magnético que tenga las mínimas características de velocidad para el test, sin modificar los tiempos y velocidades de la coagulación – floculación.

PARAMETROS PARA EL TEST DE JARRAS

Se tuvo en cuenta 3 velocidades, con sus respectivos tiempos de agitación realizados en el agitador magnético INTLLAB™ que alcanza 3000rpm, consta de una pastilla o barra magnética de 25 mm x 7 mm, recubierta por politetrafluoroetileno (PTFE), que brinda resistencia ante corrosión por compuestos químicos.

- **HOMOGENIZACION:** Se agitó la muestra de agua residual a una velocidad de 80-100 rpm durante 5 minutos antes de agregar el mucilago de tuna
- **COAGULACION:** Se mezcló el agua residual con el mucilago de tuna a una velocidad de 150-200 rpm durante 30 minutos para mucilago en base seca y 20 min en base húmeda, se mantuvo la misma velocidad de mezcla. Este proceso permitió la formación de floc
- **FLOCULACION:** Después de la etapa de coagulación, se llevó a cabo una mezcla lenta a una velocidad de 30-50 rpm durante 5 minutos para evitar la ruptura de los floc formados.
- **SEDIMENTACION:** Terminado todo el proceso del test de jarras, se permitió que la muestra sedimentara durante 12 horas para obtener resultados precisos de turbidez.

Diseño Experimental Del Test De Jarras

Antes de llevar a cabo el test de jarras como parte del diseño experimental principal, se realizó una prueba piloto con el objetivo de determinar el rango de la dosis óptima del mucílago de tuna. La prueba piloto consistió en la aplicación del mucílago de tuna en base seca y húmeda en dosis altas, evaluando la remoción de turbidez. Esto fue esencial para establecer las bases de la etapa 1 del experimento, donde se buscará la dosis óptima tanto para la base seca como para la

base húmeda. Una vez que se haya determinado este rango, se procedió a la etapa 2 del estudio, donde el mucílago de tuna se aplicó en combinación con el sulfato de aluminio. En esta fase, se buscó identificar la dosis correcta en la remoción de turbidez e investigar si el mucílago de tuna actúa de como coadyuvante en combinación con el sulfato de aluminio. Así, el test de jarras se convierte en una herramienta clave para validar la eficacia de esta combinación y determinar su viabilidad en aplicaciones reales

Tabla 7

Identificación de las variables para la aplicación del mucilago de tuna

Etapa I	Variables Independientes				Variable Dependiente	Repeticiones
	Dosis de Mucilago en Base Seca				Remoción de	
Tratamiento A	(gr/L)				turbidez	3
	0.5	1.0	1.5	2.0		
	Dosis de Mucilago en Base Húmeda				Remoción de	
Tratamiento B	(ml/L)				turbidez	3
	10	20	30	40		

DESCRIPCION DE LA ETAPA I

En la etapa I, se evaluó el efecto de coagulante del mucilago de tuna en base seca y húmeda, para lo cual se aplicaron las dosis 05gr, 1.0gr, 1.5gr y 2gr, a concentración de 100%, las cantidades de mucilago de tuna en polvo fueron agregados en la fase de la coagulación en sucesión a cada vaso de precipitado con volumen de agua residual de 1000ml con 3 repeticiones. A continuación, se realizó la aplicación del mucilago de tuna en base húmeda, se utilizaron cuatro dosis de 10ml,

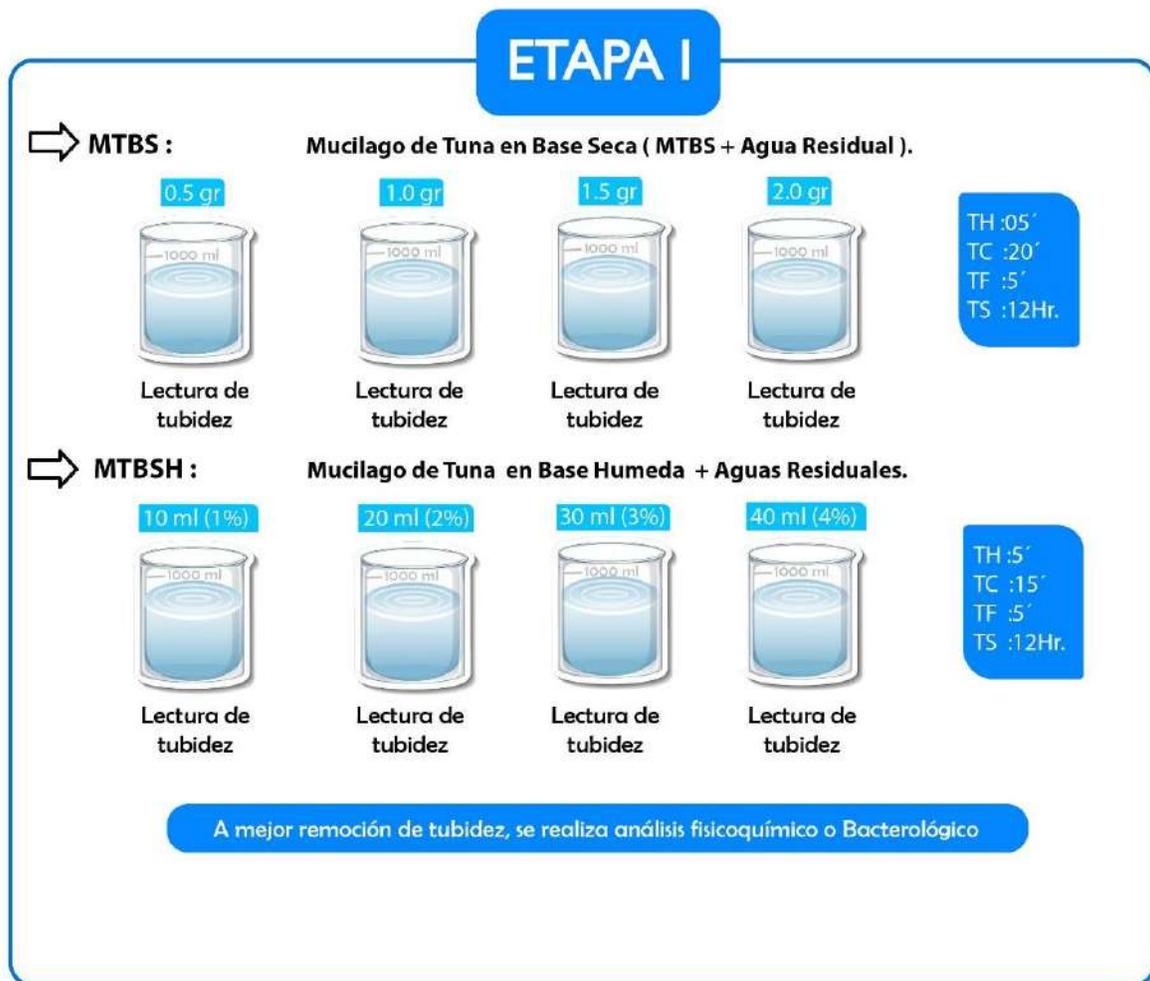
20ml, 30ml y 40ml que fueron incorporadas a un volumen de 1000 ml agua residual en vaso de precipitado.

Esta primera etapa del estudio permitió determinar las dosis óptimas de mucílago de tuna en ambas bases, que posteriormente se utilizarán en la etapa 2 para investigar su efectividad como coadyuvante junto con el sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas residuales.

Figura 14

Grafica del Diseño Experimental de la Etapa I

⇒ Tto cero: Lectura de turbidez y análisis fisicoquímico y bacterológico de las aguas residuales de la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero.



2.4.2 Evaluación del Efecto Coadyuvante de la Combinación del Mucilago de Tuna con Mejor Resultado de Remoción de Turbidez + Sulfato de Aluminio en la Clarificación de las Aguas Residuales.

En la Tabla 7, se identificaron las variables independientes y de respuesta para la evaluación del efecto coadyuvante.

Tabla 8

Identificación de las variables dependientes e independientes.

Etapa II	Variables Independientes	Variable dependiente	Repeticiones
Tratamiento 1	Dosis de MTBS (0.5gr/l) + Dosis de Sulfato de aluminio (ml/l)	Remoción de Turbidez	3 Reps
	0.5 + 5 0.5 + 10 0.5 + 15 0.5 + 20		
Tratamiento 2	Dosis de MTBH (10ml/l) + Dosis de Sulfato de aluminio (ml/l)	Remoción de Turbidez	3 Reps
	10 + 5 10 + 10 10 + 15 10 + 20		

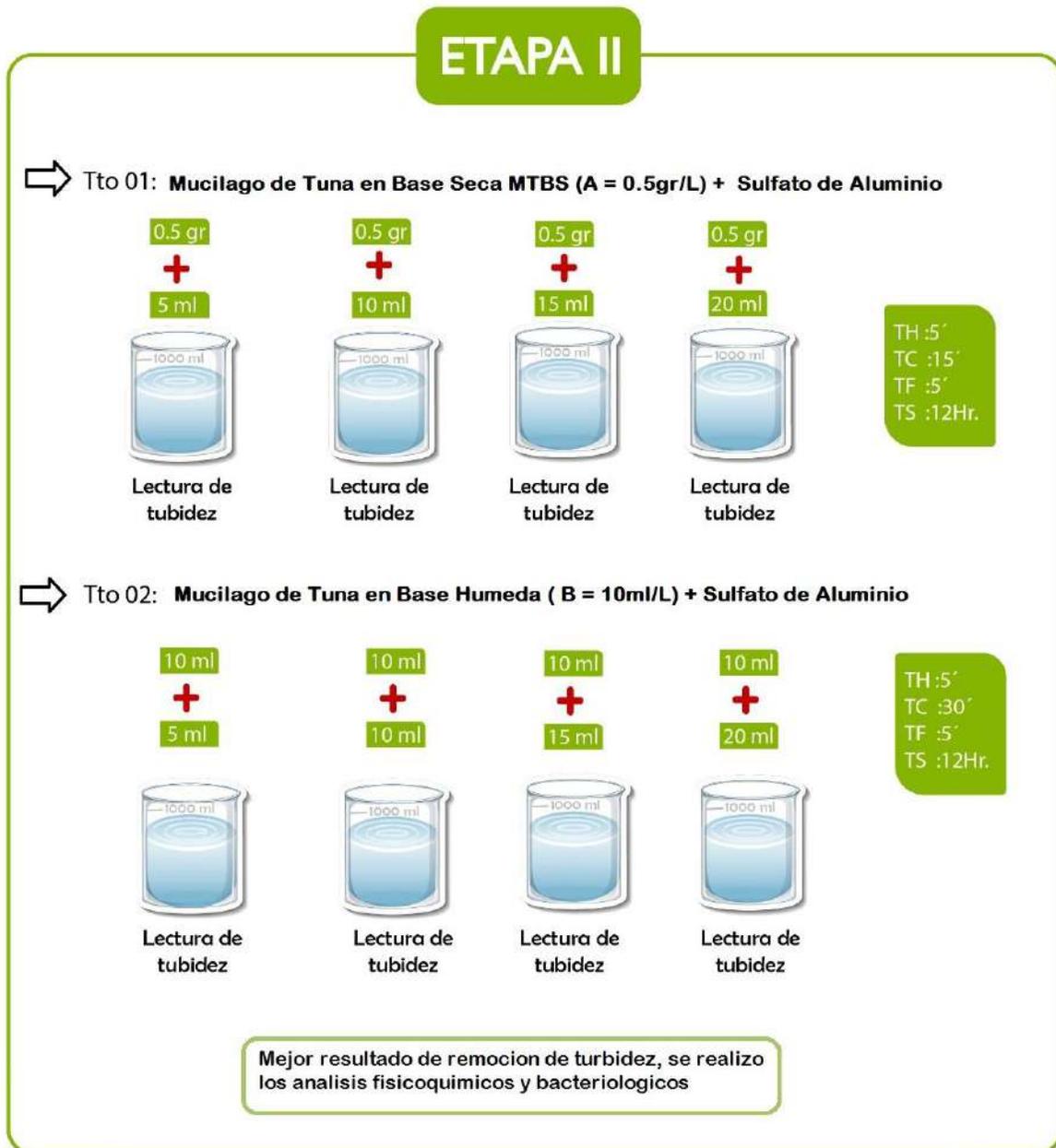
Nota, MTBS: dosis de mucilago de tuna en base seca de 0.5gr/l, MTBH: dosis de mucilago de tuna en base humeda de 10ml/l que interactuaran con las dosis de sulfato de aluminio de 5,10,15 y 20ml/l

La etapa 2 de la investigación consistió en la aplicación de dosis óptimas de mucílago de tuna en base seca y húmeda, en combinación con diferentes cantidades de sulfato de aluminio. Se dividieron en dos enfoques: "Tratamiento 1", que usó 0.5 gramos por litro de mucílago de tuna en base seca junto con 5, 10, 15 y 20 ml por litro de sulfato de aluminio, y "Tratamiento 2", que utilizó 10 ml por litro de mucílago de tuna en base húmeda en combinación con el sulfato de aluminio.

El procedimiento consistió en distribuir 1000 ml de agua residual en vasos de precipitado y luego agregar la dosis óptima de mucílago de tuna, respetando los tiempos de coagulación de 30 minutos para muestras sólidas y 20 minutos para líquidas. A continuación, se añadieron las dosis de sulfato de aluminio previamente preparadas en cada vaso de precipitado en sucesión. La preparación del sulfato de aluminio se realizó mezclando 50 gramos de coagulante inorgánico con 50 ml de agua destilada en una proporción 1:1, y se homogeneizó manualmente durante 20 minutos utilizando una bagueta

Figura 15

Grafica del Diseño Experimental de la Etapa II



2.4.3 Prueba Estadística de ANOVA de 2 Vías

El ANOVA de dos vías es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de dos o más grupos y determinar si existe una interacción entre ellos.

La prueba ANOVA de dos vías tiene dos variables independientes y una variable dependiente o de respuesta que es continua. Los pasos para realizar la prueba incluyen identificar las variables independientes y dependientes, realizar el análisis de varianza, calcular la estadística F y realizar pruebas post hoc como la prueba de Tukey para determinar qué grupos son significativamente diferentes entre sí. (Howard, 2023)

Para aceptar o rechazar una hipótesis en ANOVA, se compara el valor de P obtenido con el nivel de significancia establecido previamente. Si el valor de P es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay una diferencia significativa entre los grupos. Si el valor de P es mayor que el nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula y se concluye que no hay una diferencia significativa entre los grupos. La prueba de Tukey se utiliza para realizar comparaciones múltiples entre las medias de los niveles de los factores mientras se controla la tasa de error por familia en un nivel especificado (Howard, 2023)

2.4.4 Análisis Físicoquímicos y Bacteriológicos de las Aguas Residuales Antes y Después de los Tratamientos

2.4.4.1 Análisis Físicoquímicos

METODO ESTANDARIZADO DE LA APHA – AWWA

Para determinar los parámetros físicoquímicos y bacteriológicos de las aguas residuales, se aplicó el método estandarizado, normalizados para el análisis de aguas potables y residuales validados por la American Public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA), y la Water Environmental Federation (WEF), 2012. Los parámetros a muestrear se encuentran en el Decreto Supremo D.S. N°003 – 2010 MINAM Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

Para los análisis fisicoquímicos de la muestra de agua residual de la laguna de estabilización y las muestras de agua después de los tratamientos, fueron referidos al laboratorio de ciencias naturales, aguas, suelos, minerales y medio ambiente MC QUIMICA LAB

TOMA DE MUESTRA PARA LOS ANALISIS FISICOQUÍMICOS ANTES DE LOS TRATAMIENTOS

La obtención de las aguas residuales de la laguna de estabilización de Querapata, se realizó de acuerdo a la perspectiva del protocolo del MVCS, 2013, para el monitoreo de los efluentes de las PTAR domesticas o municipales, con modificación de algunos ítems de acuerdo al margen de accesibilidad, equipos e infraestructura de la laguna de estabilización, tomando la determinación de modificar algunos ítems necesarios a la investigación.

- Punto de muestreo: delimitado a criterio del investigador debido al mal estado de la laguna de estabilización, El muestreo de las aguas, se realizó en el punto intermedio del afluente y efluente de la laguna de estabilización de Querapata, es decir en el punto dónde la primera laguna descarga a la segunda laguna de estabilización obteniendo una muestra representativa del flujo
- Series de la toma de muestra: se recolecto las muestras en 02 series, una para la muestra testigo y la segunda para los diferentes tratamientos en el laboratorio.
- Recolección de muestras: La etapa de recolección de las muestras será de vital importancia ya que los mejores procedimientos analíticos son inútiles si no se recolecta y manipula adecuadamente las muestras. (ITOXDEF, 2016)
- Los frascos requeridos fueron de polietileno (preferencia primer uso) con volumen de 1000ml, las cuales deben estar limpios y secos para evitar contaminación.

- Se consideró un espacio de alrededor del 1% aproximadamente de la capacidad del envase (espacio de cabeza) para permitir la expansión de la muestra, evitando obtener muestras con mucha cantidad de espuma.
- El embalado de las muestras se realizó en fondo oscuro para mantener intactas las características de la DBO y DQO.
- El transporte de las muestras se realizó en caja térmica, junto con los ice gel-packs, a temperatura de 4°C – 8°C para mantener intactas las propiedades de las aguas residuales, se utilizó caja térmica debido al material ligero y el peso.
- Llenado de los registros de cada muestra con tinta indeleble, con los ítems de número de tratamiento, tipo de muestra, nombre del investigador, fecha, hora y ubicación.
- El equipo de protección personal (EPPS) que se utilizó estuvo constituido por mandil o mandilón, pantalón, gorra, impermeable, botas de jebe, guantes de látex o guantes quirúrgicos, mascarilla KN95, careta fácil o lentes de seguridad debido a la coyuntura de la COVID19.
- El tiempo transcurrido entre el muestreo y el laboratorio para el análisis debe ser el mínimo posible y el máximo 8 horas. (DIGESA, 2007)

ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DESPUES DE LOS TRATAMIENTOS

- Ante de realizar los análisis fisicoquímicos, después de las 24 horas de sedimentación del floc, se realizó la lectura de turbidez de cada vaso de precipitado en cada tratamiento.
- Se dirigió al laboratorio acreditado para los análisis fisicoquímicos, se derivo los resultados favorables de remoción de turbidez de cada tratamiento.

- Después de realizar las lecturas con el turbidímetro, previo a alistar la muestra en los frascos de polietileno, se hizo un filtrado con gasa en varias capas para atrapar el floc y la muestra de agua sea representativa del tratamiento.
- Se almaceno las muestras después de los tratamientos de las diferentes dosis en frascos estériles de polietileno en fondo oscuro para evitar la disminución o aumento de algunos ítems a analizar.
- El tiempo transcurrido entre alistar la muestra y la llegada de la muestra al laboratorio de análisis, no fue mayor a 2 horas, se transportó la muestra en caja térmica, en fondo oscuro, junto con los ice gel-packs, para evitar perder características del agua tratada.

2.4.4.2 Analisis Bacteriologicos

MÉTODO DE FERMENTACIÓN EN TUBOS MÚLTIPLES NMP - APHA-AWWA - WPCF (2012)

El método de fermentación por tubos múltiples se emplea para obtener resultados que se expresen en términos de Número Más Probable (NMP) en 100 mL, se basa en la determinación de presencia o ausencias de un determinado tipo de microorganismo en función de su crecimiento o muestre algún tipo de reacción en el medio de cultivo, en cantidades decrecientes llamadas diluciones, cuenta con 03 fases una presuntiva, fase confirmatoria para coliformes totales seguida de la fase de coliformes Termotolerantes.

La toma de muestra para los análisis bacteriológicos antes y después de los tratamientos, se realizó con modificaciones según criterio del investigador, tomando puntos de referencia de los “Protocolos de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos, superficiales” de la DIGESA, 2007, y los parámetros de análisis de los LMP que aparece en el D.S.003 – 2010 – MINAM

Para los análisis bacteriológicos de la muestra de agua residual del punto de la laguna de estabilización y las muestras de agua después de los tratamientos en cada etapa, fueron referidos al laboratorio microbiológico MICROLAB

ANALISIS BACTERIOLOGICOS ANTES DE LOS TRATAMIENTOS

- Antes del análisis se realizó la medición de la turbidez, con el turbidímetro previamente calibrado, la medición se realizó en campo en la laguna de estabilización.
- Para la recolección de la muestra, se utilizó envases de vidrio de borosilicato, debidamente esterilizadas, se rotularon los frascos con etiquetas indicando el número de tratamiento, nombre, fecha, hora y lugar de la muestra.
- Las muestras fueron tomadas en la desembocadura a la segunda laguna de estabilización (punto intermedio entre lagunas), con los EPPs para evitar contaminación, la obtención de muestra fue directa, sin enjuague y dejando un espacio de 1/3 del frasco.
- Los frascos de vidrio (borosilicato) de 250 ml, fueron embalados con delicadeza para evitar rajaduras, abolladuras y derrames de muestra para no contaminarlas, se empaquetó junto con los ice gel - pack en bolsas herméticas para evitar que los etiquetados se dañen, se transportó el material en caja térmica (cooler)
- Las muestras recolectadas se conservaron en cajas térmicas (Cooler) a temperatura de 4°C - 8°C, disponiendo para la conservación en cadena de frío de los ice gel-packs
- El tiempo de entrega entre la toma de muestra y el laboratorio de análisis microbiológico, para la muestra piloto o tratamiento cero fue entre las 4h – 6h.
- Se utilizó los equipos de protección personal (epps) como mandil, mandilón impermeable, guantes de latex, barbijos kn95, gafas de seguridad, botas debido al estado de emergencia de la covid19. (DIGESA, 2007)

ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS DESPUES DE LOS TRATAMIENTOS

- Se hizo una lectura de turbidez a cada tratamiento, se llevó a análisis bacteriológico la muestra de agua tratada con la mejor lectura de turbidez, previamente se realizó una filtración con malla entrelazada con hilos de algodón (gasa de algodón) para no contaminar la muestra con el floc sedimentado.
- Las muestras fueron directas y se transportaron en vidrio de borosilicato de 250ml, debidamente esterilizadas, conservando la muestra hasta el laboratorio en cadena de frío con los ice gel - pack a 4° - 6°C, transportadas en caja térmica.
- El frasco fue rotulado con los siguientes ítems: número de tratamiento, tipo de muestra, nombre del investigador, fecha del tratamiento, fecha del análisis, hora.
- El tiempo transcurrido entre la toma de muestra al laboratorio no será mayor a 4h – 6h y transportadas en coolers con gel pack para evitar perder características del agua tratada.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DOSIS OPTIMA DEL MUCILAGO DE TUNA, EN BASE SECA Y HÚMEDA PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ

3.1.1 Resultado de la Composición Química del Mucilago de Tuna.

El MTBS presento un 6.40% de humedad, mientras que el MTBH un valor considerablemente más alto de 98.08%, en relación a los carbohidratos, el MTBS mostró un contenido del 83.41%, mientras que en base húmeda de 1.7%.

Al comparar los valores de la Tabla 9, respecto a las proteínas, grasas, fibra y ceniza, el mucilago de tuna en base seca obtuvo cantidades más altas de proteínas 5.98%, grasas 2.16%, fibra 3.76% y ceniza 2.05% en comparación con el mucílago de tuna en base húmeda, donde los valores de estos componentes fueron mucho más bajos, proteínas 0.12%, grasas: 0.05%, fibra: 0.21%, ceniza: 0.04%

Tabla 9

Resultados del análisis químico del mucilago de tuna

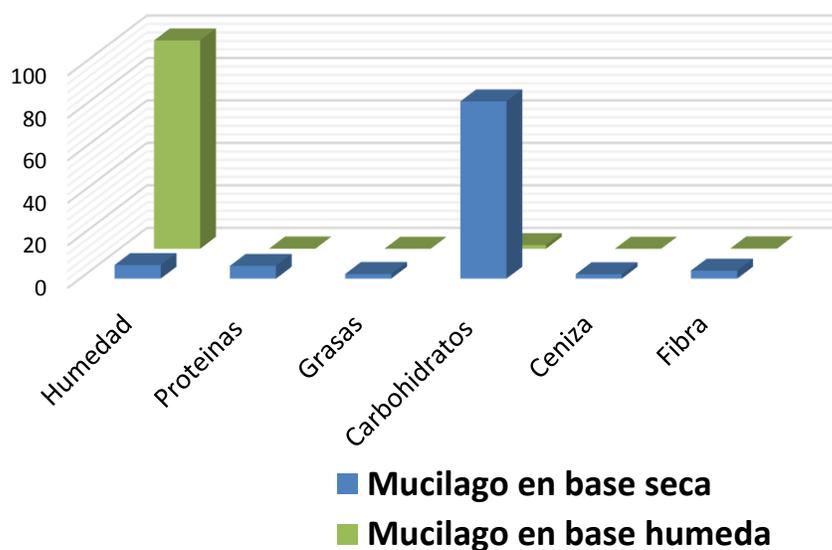
Análisis Químico	MTBS (%)	MTBH (%)	NORMA AOAC
Humedad	6.40	98.08	AOAC 964.22
Proteínas	5.98	0.12	AOAC 955.04
Grasas	2.16	0.05	AOAC 920.39
Carbohidratos	83.41	1.70	
Ceniza	2.05	0.04	AOAC 942.05
Fibra	3.76	0.21	AOAC 962.09

Nota: Informe de Análisis N°0260 - 0264-21-LAQ. MTBS (%), porcentajes del contenido del análisis fisicoquímico del mucilago de tuna en base seca, MTBH (%), porcentaje contenido del mucilago de tuna en base húmeda, NORMA AOAC de alimentos y bebida de la Association of Official Analytical Chemists

Figura 16

Comparación entre los mucilagos de tuna en base seca y húmeda

Comparacion entre los mucilagos en base húmeda y base seca



Nota: los valores obtenidos del análisis fisicoquímico se encuentran en porcentajes

En resumen, el análisis químico del mucílago de tuna revela diferencias notables entre las bases seca y húmeda. El contenido de humedad y carbohidratos varía considerablemente entre ambas bases, mientras que los demás parámetros se mantienen en niveles mínimos en el mucílago en base húmeda. Estos resultados resaltan la importancia de considerar el proceso de extracción al evaluar la composición química del mucílago de tuna

3.1.2 Resultados de la Dosis Optima del Mucilago de Tuna

La Tabla 10, muestra los resultados de las lecturas de turbidez realizadas en la etapa I, para las dosis de MTBS y MTBH. Las lecturas de turbidez inicial de la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero muestran una turbiedad promedio de 121.12 NTU, antes de realizar las pruebas y un pH de 6.12.

Tabla 10

Resultados de dosis de mucilago de tuna en base seca y húmeda vs turbidez

	MTBS (gr)				MTBH (ml)			
DOSIS	0.5	1.0	1.5	2.0	10	20	30	40
TURBIDEZ FINAL (NTU)	30.6	43.9	56.4	68.6	44.5	62.2	67.0	66.5
	31.6	45.8	54.6	63.0	43.1	61.8	66.8	66.4
	32.1	45.6	55.9	64.9	44.2	62.0	67.9	66.0
	31.8	45.7	57.2	64.0	47.9	66.1	66.2	65.3
	32.9	46.4	57.1	69.6	44.4	63.2	66.9	66.6
Medias \bar{x}								
(NTU)	31.8	45.48	56.24	66.02	44.82	63.06	66.96	66.16
%Remoción	73.75	62.32	53.32	45.58	63.66	56.74	44.72	45.82

Nota: MTBS es el mucilago de tuna en base seca y MTBH es mucilago de tuna en base húmeda, NTU unidades nefelometricas de turbidez, \bar{x} es el promedio de la turbidez, %R es el porcentaje de remoción de turbidez.

Según los datos obtenidos se analizará la hipótesis nula y alterna con la prueba de varianza (ANOVA) de un solo factor, donde las variables independientes son dosis de mucilago de tuna en base seca y húmeda, respecto a la variable de respuesta turbidez.

Supuesto del análisis de varianza (ANOVA), todas las medias en cada tratamiento son iguales:

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

HO: La aplicación de la dosis de MTBS y MTBH no tienen efecto como coagulante orgánico en la remoción de turbidez. (No existe diferencia significativa entre las medias)

Hi: La aplicación de la dosis de MTBS y MTBH, tiene efecto como coagulante orgánico en la remoción de turbidez. (Existe diferencia significativa entre las medias)

La Tabla 11, muestra los resultados obtenidos del análisis de ANOVA de 2 vías.

Tabla 11

Análisis de Varianza de las dosis del MTBS y MTBH

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor P
Dosis de MTBS (gr/l)	4	26656.4	6664.10	3564.21	0.000
Dosis de MTBH (ml/L)	4	18822.9	4705.72	2516.79	0.000
Error	37	69.2	1.87		
Total	45	28780.1			

Nota: MTBS: mucilago de tuna en base seca y MTBH: mucilago de tuna en base húmeda

Dado que los valores de P obtenido en ambas dosis de MTBS y MTBH es extremadamente bajo (0.000 en ambos casos < 0.05), se puede afirmar lo siguiente:

Dosis de MTBS (gr/L): Se encontró que las diferentes dosis de mucílago de tuna en base seca tienen un impacto altamente significativo en la remoción de turbidez en el agua. La probabilidad de que esta diferencia sea aleatoria es prácticamente nula (valor $p < 0.000$).

Dosis de MTBH (ml/L): Similarmente, las distintas dosis de mucílago de tuna en base húmeda también muestran un efecto altamente significativo en la turbidez del agua residual (valor $p < 0.000$).

Por otro lado, los valores F altos indican que hay diferencias significativas entre las dosis aplicadas y la turbidez resultante. Esto sugiere que tanto el mucílago de tuna en base seca como en base húmeda tienen un efecto significativo en la remoción de turbidez.

Estos resultados respaldan a la hipótesis alterna H_1 : " La aplicación de la dosis de MTBS y MTBH, tienen efecto como coagulante orgánico en la remoción de turbidez". En otras palabras, el mucílago de tuna en base seca o húmeda, ha demostrado ser efectivo para reducir la turbidez en el agua residual, como coagulante orgánico en el tratamiento de aguas residuales

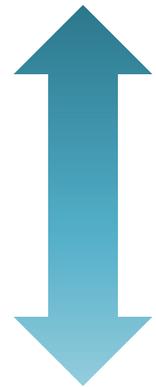
Por otro lado, La Tabla 12, muestra los resultados de la prueba de Tukey que compara las medias entre las dosis de MTBS y MTBH, si hay o no diferencia significativa entre las medias de los grupos y determina las dosis con el mejor tratamiento respecto a la remoción de turbidez.

Tabla 12

Comparación de Tukey para el MTBS (gr/L)

Factor (Dosis de MTBS gr/l)	N	Medias (NTU)	Agrupación
0.0	26	72.264	A
2.0	5	17.164	B
1.5	5	7.384	C
1.0	5	-3.376	D
0.5	5	-17.056	E

Mayor media =
mayor turbidez



Menor media =
menor turbidez

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, MTBS es el mucilago de tuna en base seca, a mayor media, mayor turbidez, a menor media, menor turbidez

Grupo A (sin tratamiento): Esta es la lectura inicial de turbidez del agua residual antes de aplicar los tratamientos, presenta la media más alta.

Grupo B (dosis de 2.0 gr/L): Este grupo tiene una media de 17.164. Esto indica que, en promedio, la turbidez se ha reducido significativamente en comparación con la lectura inicial. Sin embargo, la media de este grupo aún es más alta que la del "Grupo C, D y E".

Grupos C (1.5 gr/L) y D (1.0 gr/L): Estos grupos tienen medias de 7.384 y -3.376 respectivamente y también lograron una remoción de turbidez respecto al grupo inicial, sin embargo, sus medias se encuentran por encima del Grupo E

Grupo E (0.5 gr/L): Con una media de -17.056, este grupo presenta la menor turbidez promedio entre todos los grupos evaluados. Indicando que ha logrado la mayor reducción en la

turbidez en comparación con la lectura inicial de turbidez, lo que sugiere que es el tratamiento más efectivo en términos de remoción de turbidez en el agua residual.

De acuerdo a la comparación de TUKEY, el MTBS a dosis pequeñas presenta propiedades coagulantes significativas, siendo la más efectiva la dosis de 0.5gr/l, esto se atribuye a la estructura molecular de los polisacáridos, la carga superficial y la capacidad que tiene el mucilago de aumentar su tamaño, adherir y aglutinar a las partículas suspendidas formando floculos grandes.

La Tabla 13, nos muestra la agrupación de las medias de Tukey, para las dosis de MTBH

Tabla 13

Comparación de Tukey para el MTBH (ml/L)

Factor	N	Medias	Agrupación
Dosis de MTBH ml/l		(NTU)	
0.0	26	64.132	A
30	5	9.972	B
40	5	9.172	B
20	5	5.272	C
10	5	-12.168	D

Mayor media =
mayor turbidez



Menor media =
menor turbidez

Nota: MTBH es la dosis de mucilago de tuna en base húmeda, N población, los

grupos que no tienen una letra en común tienen medias diferentes, a mayor media mayor turbidez, a menor media, menor turbidez

Grupo A (sin tratamiento): Esta es la lectura inicial de turbidez del agua residual antes de aplicar algun tratamiento. Su media es 64.132.

Grupos B (dosis de 30 ml/L) y C (dosis de 40 ml/L): Ambos grupos tienen medias de 9.972 y 9.172, respectivamente. Esto indica que, en promedio, la turbidez se ha reducido

significativamente en comparación con la lectura inicial (Grupo A), estas medias no son significativamente diferentes entre grupos.

Grupo C (dosis de 20 ml/L): Este grupo tiene una media de 5.272, lo que sugiere una reducción en la turbidez en comparación con la lectura inicial (Grupo A), pero la media aún es más alta que la del "Grupo D".

Grupo D (dosis de 10 ml/L): Este grupo tiene la media más baja de todas las dosis de MTBH (-12.168). Esto indica que, en promedio, ha logrado la mayor reducción en la turbidez en comparación con la lectura inicial de turbidez (Grupo A). Por lo tanto, se le considera el tratamiento más efectivo en términos de reducción de turbidez.

Según lo observado en la comparación de TUKEY, el MTBH presenta eficacia significativa en la remoción de turbidez, siendo menor que el mucilago en base seca. Esto se atribuye a que el mucilago en base húmeda presenta una menor concentración de polisacáridos y cargas (menor concentración de compuestos activos) y el efecto de remoción se debe al estado de hidratación inicial que tiene el mucilago y comienza actuar más rápidamente contribuyendo a la remoción de turbidez.

Según el análisis estadístico, se ha determinado que los tratamientos más efectivos para la reducción de la turbidez son el Grupo E (0.5 gr/L) del MTBS y el Grupo D (10ml/L) del MTBH. En consecuencia, se seleccionarán estas dosis para su aplicación en combinación con el sulfato de aluminio con el propósito de evaluar su efecto coadyuvante en el proceso de clarificación de las aguas residuales

3.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO COADYUVANTE DE LA COMBINACIÓN DE MUCILAGO DE TUNA CON LA MEJOR DOSIS EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ + SULFATO DE ALUMINIO EN LA CLARIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

De acuerdo a la Tabla 14, los resultados obtenidos de la combinación de las variables independientes, dosis de MTBS (0.5gr), dosis de MTBH (10 ml), que interactuaron con la variable independiente dosis de sulfato de aluminio (5 ml, 10 ml, 15 ml y 20 ml), fue la variable de respuesta remoción de turbidez, se evaluó la interacción mediante la prueba de ANOVA de 2 vías

Tabla 14

Resultados de la combinación de mucilago de tuna + sulfato de aluminio

Dosis de Mucilago	Dosis de Sulfato de Al (ml/l)	Lectura de Turbidez (NTU)					\bar{x} Turbidez (NTU)	% de Remoción
MTBS (A – 0.5gr/l)	5	39.3	40.6	42	42.2	41.8	30.42	78.08
	10	19.25	19.53	19.76	18.67	18.42	19.13	82.22
	15	15.77	15.63	16.42	16.38	15.24	15.89	88.55
	20	6.84	6.22	7.13	6.94	6.6	6.75	95.14
MTBH (B – 10ml/l)	5	38.5	36.2	39.8	32.1	38.5	40.78	70.62
	10	28.7	29.9	30.2	30.5	29.1	31.68	77.18
	15	20.5	19.8	20.9	18.7	20.1	2.02	85.58
	20	12.6	12.8	13.6	12.9	13.5	13.08	90.56

Nota: MTBS (A): mejor dosis de mucilago de tuna en base seca de 0.5gr/l (A), MTBH (B): mejor dosis de mucilago de tuna en base húmeda de 10ml/l, previamente identificadas.

FORMULACION DE HIPOTESIS:

Ho: No existe ningún efecto coadyuvante del mucilago de tuna + el sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas residuales. (las medias de todas las aplicaciones son iguales)

Hi: Existe efecto coadyuvante del mucilago de tuna + el sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas residuales. (las medias de todas las aplicaciones son iguales)

La Tabla 15, muestra los datos de la aplicación del ANOVA de 2 factores.

Tabla 15

Análisis de varianza de 2 factores (mucilago de tuna y sulfato de aluminio)

Análisis de varianza (ANOVA de 2 factores)					
Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Ajustada	Cuadrados Medios Ajustada	Valor F	Valor P
Dosis de MT (A y B)	1	65.54	65.54	94.65	0.000
Dosis de Cg In	3	3587.60	1195.87	1727.17	0.000
Dosis de MT + Cg In	3	644.95	214.98	310.49	0.000
Error	32	22.16	0.69	94.65	
Total	39	4320.24		1727.17	

Nota: MT A: dosis de 0.5gr/l de mucilago de tuna en base seca, MT B: dosis de 10ml/l de mucilago de tuna en base húmeda, Cg In: dosis del coagulante inorgánico sulfato de aluminio y

MT + Cg In: combinación de la dosis de mucilago de tuna a y b + dosis de coagulante inorgánico sulfato de aluminio

Los resultados obtenidos por el ANOVA de 2 factores indican, que las Dosis de Mucilago de tuna (A y B) como la dosis de Cg In tienen efectos significativos en la variable de respuesta (remoción de turbidez). Los valores de F altos y el valor $p = 0.000$ indican que estos factores son estadísticamente significativos en su influencia en la clarificación de las aguas residuales.

La interacción entre la dosis de mucilago de tuna A y B, y la dosis de Cg In también es significativa con P valor = 0.000. Esto significa que los efectos de estos dos factores no son independientes entre sí; si no que interactúan de manera significativa para afectar la turbidez.

En resumen, en base a los resultados del ANOVA, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa de que tanto el mucilago de tuna como el sulfato de aluminio (Cg In) tienen un efecto significativo en la remoción de turbidez, y que la interacción entre estos dos factores también es significativa. Esto sugiere que el mucilago de tuna actúa como coadyuvante al sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas residuales.

Utilizando los resultados del ANOVA, se aplica la prueba de Tukey con los resultados en la Tabla 16, que agrupa los tratamientos designado letras de tal forma se podrá determinar qué niveles específicos de los factores son significativamente diferentes entre sí en términos de la remoción de turbidez y cuál es el mejor tratamiento en la reducción de turbidez

Tabla 16

Comparación por parejas de Tukey: Dosis de MT y Dosis de Cg In

Dosis de MTB *	Media	Agrupación
Dosis de Cg In (ml)		
A 5	41.180	A
B 5	30.420	B
B 10	29.680	B
B 15	20.000	C
A 10	19.126	C
A 15	15.888	D
B 20	13.080	E
A 20	6.746	F

Mayor media =
mayor turbidez



menor media =
menor turbidez

Nota: A = 0.5gr dosis de mucilago de tuna en base seca, B =10ml dosis de mucilago de tuna en base humeda, Cg In es el coagulante inorgánico sulfato de aluminio, mayor media, mayor turbidez, menor media menor turbidez.

En base a los resultados en la Tabla 16, determinamos cuáles tratamientos son significativamente diferentes en términos de la remoción de turbidez y cuál es el tratamiento más efectivo para reducir la turbidez del agua residual.

Mejor Tratamiento: "A 20" es el tratamiento más efectivo, con la turbidez más baja (media de 6.746). Esto implica que combinar "Mucílago de tuna A" con una dosis de "Cg In (ml)" de 20 logra la mejor reducción de turbidez.

Grupo A (Menor Efectividad): "A 5" es el menos efectivo en este grupo, con la turbidez más alta. También, "B 5" y "B 10" son diferentes entre sí, pero no tan efectivos como "A 20".

Grupo B: "B 15" y "A 10" difieren significativamente, pero ambos son menos efectivos que "A 20". "B 15" tiene una turbidez más alta que "A 10".

Aislado: "A 15" tiene un rendimiento significativamente diferente de otros tratamientos y se encuentra en su propio grupo. Su efectividad está entre los extremos.

Grupo E (Segundo Mejor): "B 20" es el segundo tratamiento más efectivo en términos de reducción de turbidez después de "A 20".

Según el análisis de TUKEY se observó una diferencia significativa en la clarificación de las aguas residuales al combinar mucílago de tuna A (0.5gr/l) y B (10ml/l) con sulfato de aluminio, esto se atribuye al contenido de polisacáridos, la carga superficial y el estado de hidratación del mucilago de tuna que actúan como agente inicial atrapando partículas y sólidos en un floc compacto, posteriormente la adición de sulfato de aluminio refuerza la red del floc más robusto y grande facilitando su separación y sedimentación en el agua. La sinergia de ambos mejora significativamente el proceso de clarificación de las aguas residuales.

En resumen, "A 20" es el tratamiento líder en la reducción de turbidez, seguido por "B 20". Los tratamientos "A 5" y "B 5" son menos efectivos, y otros tratamientos varían en su eficacia. Estos resultados indican la importancia de la combinación de "Mucílago de tuna A" con una dosis de "Cg In (ml)" de 20 para una reducción óptima de la turbidez.

3.3. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS COMPARADOS CON LOS LMP

3.3.1 Resultado de los Análisis Fisicoquímicos

De acuerdo a la Tabla 17, el agua residual de la laguna de estabilización de Querapata, muestra valores elevados en los parámetros de: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 280mg/L, demanda química de oxígeno (DQO) 560mg/L, sólidos totales en suspensión de 190/mg/L, aceites y grasas en 28mg/L, valores fisicoquímicos por encima a los LMP según D.S. 003-2010-MINAM, el parámetro de pH con 6.1 (ácido), se encuentra debajo de la norma y la temperatura en 15°C en el rango del LMP

Tabla 17*Análisis fisicoquímicos de los tratamientos con mejor remoción de turbidez*

Parámetros	A.R.	MTBS	MTBH	MTBS +	LMP	Unidades
	Qpta			Al₂(SO₄)₃	D.S 003 –	
					2010 MINAM	
Aceites y grasas	28	16	18	16	20	mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	280	80	140	180	100	mg/L
Demanda química de oxígeno (DQO)	560	120	300	500	200	mg/L
Sólidos totales en suspensión	190	28	50	140	150	mg/L
Temperatura	15	15	15	15	< 35	°C
pH	6.1	6.6	6.4	6.1	6.5 – 8.5	

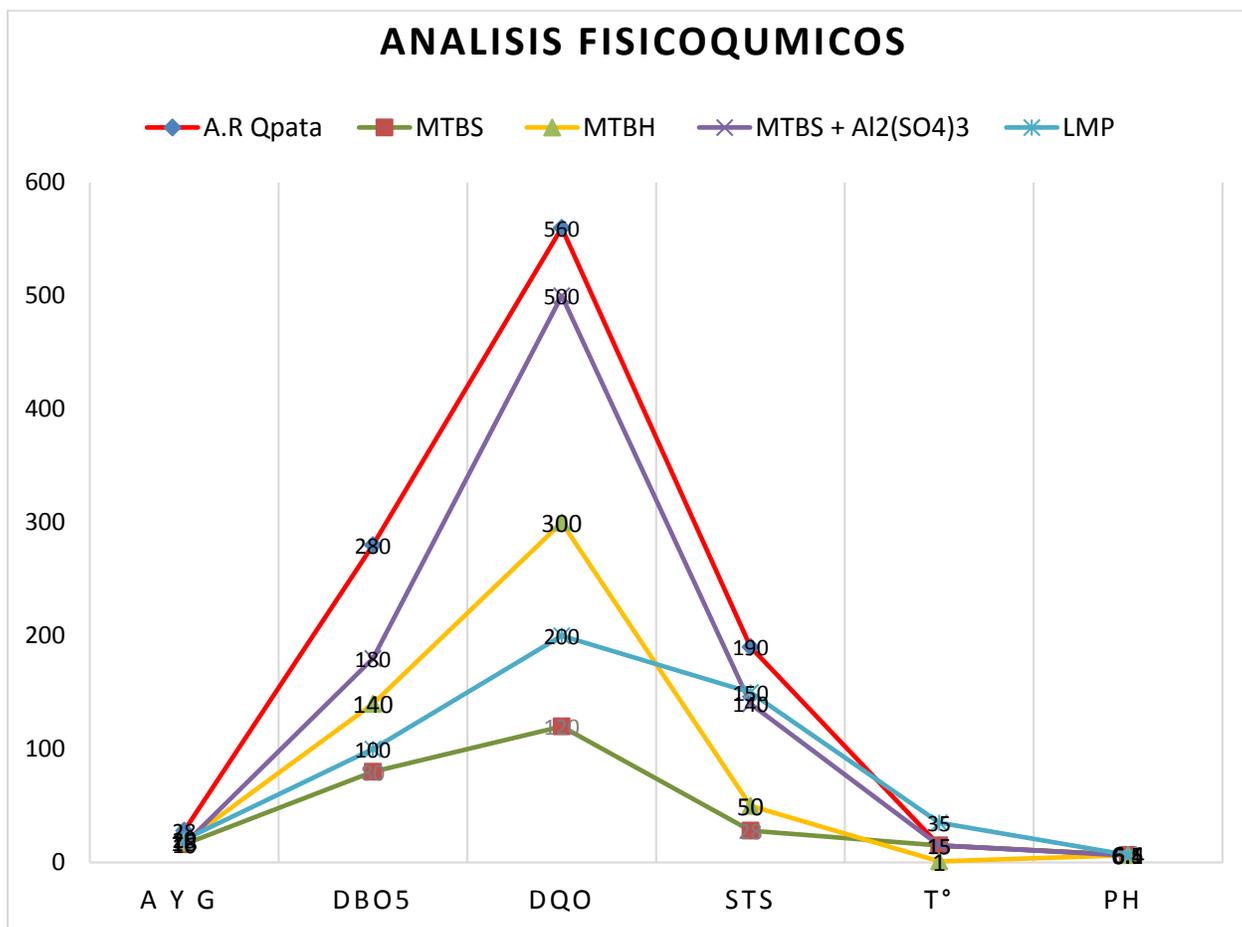
Nota: Informe LQ 17- 28 – 2022, A.R.Qpta: agua residual de Laguna de estabilización de Querapata, MTBS: mucilago de tuna en base seca, MTBH: mucilago de tuna en base húmeda, MTBS + Al₂(SO₄)₃: combinación de mucilago de tuna en base seca + sulfato de aluminio y LMP límites máximos permisibles según D.S 003-2010- MINAM.

Conforme a los resultados de los análisis fisicoquímicos los valores del MTBS se encuentra dentro de los LMP, esto se le atribuye al contenido de los polisacáridos del mucilago en base seca que le confiere la característica de coagulante natural favoreciendo la coagulación y formación de los floculos, esta red densa y compacta atrapa la materia orgánica (DBO), materia inorgánica (DQO), solidos totales en suspensión y aceites y grasas. A diferencia del mucilago en base húmeda que tiene un contenido parcial de los polisacáridos y el sulfato de aluminio que incorpora materia inorgánica como aluminio disuelto.

Al comparar y analizar los datos fisicoquímicos en la Figura 17, entre los tratamientos A - MTBS, Tto B - MTBH, Tto 1 - MTBS + $Al_2(SO_4)_3$ y el agua residual de la laguna de estabilización de Querapata, se observa una clara mejora en la calidad del agua residual mediante la aplicación del mucílago de tuna en base seca

Figura 17

Comparación entre resultados fisicoquímicos de los tratamientos.



Nota: A y G: aceites y grasas, DBO5: demanda bioquímica, DQO: demanda química de oxígeno, STS sólidos totales suspendidos, T° temperatura, A.R Qpata agua residual de la laguna, MTBS muestra de agua con el tratamiento del mucilago seco, MTBH muestra con el mucilago de tuna en base húmeda y MTBS + Al₂(SO₄)₃: muestra con la combinación de mucilago seco y sulfato de aluminio

El tratamiento con MTBS muestra resultados prometedores en la reducción de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y aceites y grasas (A y G), lo cual demuestra su eficacia en el tratamiento de las aguas residuales de la laguna de estabilización de Querapata - Chinchero.

Se ha logrado disminuir la DBO inicial de 280 mg/L a un valor final de 80 mg/L, la DQO inicial de 560 mg/L a 120 mg/L, los SST iniciales de 190 mg/L a 28 mg/L, y los A y G iniciales de 28 mg/L a 16 mg/L. Todos estos valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por el D.S. 003 - 2010 - MINAM.

A pesar de que los parámetros de temperatura se mantuvieron constantes en 15°C, se observa una ligera mejora en el pH inicial de 6.1, aumentando a 6.4. Sin embargo, aún no alcanza el rango establecido por los LMP.

3.3.2 *Resultados Del Análisis Bacteriológico*

Los resultados microbiológicos, del agua residual antes y después de la aplicación del mucilago de tuna y la combinación de mucilago de tuna + sulfato de aluminio se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

Análisis microbiológicos de los tratamientos con mejor remoción de turbidez.

Tiempo de muestreo	Código	Resultados (NMP/100ml)	LMP DS N°003-2010 MINAM
Antes de los tratamientos	A.R Qpta	34×10^{80}	
Después de los Tratamientos	Tto A- MTBS	9×10^{45}	10,000
	Tto B- MTBH	6×10^{30}	NMP/100ml
	Tto 1 MTBS + $Al_2(SO_4)_3$	8×10^5	

Nota: Informe Microlab 2022, A.R.Qpta: lectura del agua residual de Querapata, Tto A: lectura después de la aplicación del mucilago de tuna en base seca, Tto B: lectura después de la aplicación del mucilago de tuna en base seca y Tto 1: lectura después de la aplicación de la combinación de mucilago en base seca + sulfato de aluminio.

En el tratamiento Tto A, se observó una reducción de coliformes a 9×10^{45} NMP/100ml, en el tratamiento Tto B la reducción fue de 6×10^{30} NMP/100ml, mientras que en el tratamiento Tto 1, se alcanzó una reducción de 8×10^5 NMP/100ml. Sin embargo, los resultados obtenidos en los tratamientos Tto A, Tto B y Tto 1 no cumplen con el límite máximo permisible (LMP) de 10,000 NMP/100ml establecido en el D.S. 003-2010-MINAM.

La reducción de los coliformes totales después de la aplicación del mucilago de tuna, se debe a los polisacáridos del mucilago que actúan como agente coagulante, esta acción resulta en el atrapamiento físico de las bacteria; sin embargo la composición de los polisacáridos también

proporcionan nutrientes que favorecen el crecimiento de las bacterias no atrapadas, de esta forma no se reduce por completo los coliformes totales para los LMP pero si existe una reducción sustancial en comparación con el agua residual de Querapata antes de los tratamientos, otra característica también es la antigüedad de la laguna que estuvo almacenando por más de 20 años coliformes desde su construcción.

3.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.4.1 Composición Química del Mucilago de Tuna y Dosis Optima del Mucilago de Tuna en Base Seca y Húmeda para la Remoción de Turbidez

- **COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCILAGO DE TUNA**

De acuerdo al análisis químico realizado al mucílago de tuna en base seca y húmeda, se observaron diferencias marcadas en el contenido de los parámetros de humedad, carbohidratos, proteínas, grasas, fibra y cenizas.

Estas diferencias se deben al proceso de extracción utilizado en cada caso. En la extracción de mucilago en base seca, se empleó la extracción líquido-líquido, que involucra la aplicación de un solvente para precipitar los componentes deseados y el tratamiento térmico para obtener un producto más concentrado. Por otro lado, en la extracción de mucilago en base húmeda, se utilizó una la extracción sólido - líquido, dejando la penca troceada en agua destilada, permitiendo la separación de los componentes solubles e insolubles.

Los principales factores considerados en la obtención del MTBS fueron, trituración 1:1, extracción la relación de agua - penca fue de 1:3 / 24hr, escaldado a 60 – 65°C / 2hr con el fin de recuperar la mayor cantidad de mucilago en la dilución, inactivar enzimas, eliminación de patógenos y alargar la vida útil del mucilago, concentración a baño maria 75°C/12hr para eliminar las $\frac{3}{4}$ de agua, precipitación con alcohol etílico 95° en relación de 3:1 /24hr para precipitar el

mucilago y separarlo de la fase acuosa, y reducir el color verde debido a la clorofila y el secado a 70°C hasta alcanzar color, textura y peso constante del mucilago, Se destaca que los resultados de los componentes del mucilago en base seca muestran concordancia con los obtenidos por **Silva, (2017)** debido a que se utilizó el método en su investigación como una guía en la obtención del mucilago en base seca.

De acuerdo con la Tabla 19. El mucilago en base húmeda presenta un contenido de humedad de 98.08%, mientras que en base seca de 6.40%. Estos valores difieren de los encontrados en otros estudios, como el de **Sepúlveda. et al (2007)**, quienes reportaron un contenido de humedad en pencas de tuna fresca del 91.9% y en mucílago seco del 5.6%. **Almendarez, (2007)** encontró un contenido de humedad del 7.56% en el mucílago seco denominado COCHIFLOC. **Rodríguez. et al, (2007)** reportaron un contenido de humedad en base seca de $7.31 \pm 0.03\%$ y en fresco de 92.69%. **Silva, (2017)** encontró un rango de humedad en base seca del mucílago entre 25.98% y 40.72%, y en base húmeda entre 64% y 74.02%. Estas diferencias en los contenidos de humedad se deben al método de extracción y al análisis en fracciones durante el proceso.

En cuanto a los carbohidratos, se encontró un contenido del 1.70% en base húmeda y del 83.41% en base seca. Estos valores difieren debido al método de extracción utilizado. Investigaciones previas como las de **Sepúlveda. et al, (2007)**, **Abraján, (2008)**, **Bayar. et al, (2016)** y **Martínez. et al, (2012)**, reportaron contenidos de carbohidratos en base seca que oscilan entre el 49.47% y el 72.3%. **Silva, (2017)** encontró un rango de carbohidratos del 20.21% - 64.85% en base húmeda y del 77.78% - 93.65% en base seca. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de los valores encontrados en otros estudios.

El contenido de proteína en base húmeda fue de 0.12%, mientras que en base seca fue de 5.98% que se concuerdan con lo hallado por **Abrajam, (2008)** y **Rodríguez. et al, (2007)** con valores de proteína en base seca entre el 3.65% - 11.39%. Respectivamente. **Silva, (2017)** reportó contenidos de proteína que van desde el 1.43% - 5.45% en base húmeda y del 4.22% - 14.12% en base seca. En cuanto a las grasas, se encontró un contenido de 0.05% en base húmeda y de 2.16% en base seca. Algunos estudios anteriores no reportaron valores de grasas, pero en otros casos se encontraron valores que oscilan entre el 0.47% y el 1.96%.

En relación a las cenizas y la fibra, se obtuvieron valores de 0.04% y 0.21% en base húmeda, y de 2.05% y 3.76% en base seca, respectivamente. Estos resultados difieren de los encontrados por **Silva, (2017)** que reportó valores de cenizas entre el 0.68% y el 2.20% en base húmeda, y entre el 2.01% y el 8.47% en base seca. También se encontraron diferencias en los contenidos de fibra, con valores reportados por **Rodríguez. et al, (2007)** de 14.91% para fibra soluble y 23.24% para fibra insoluble.

Tabla 19*Comparación de resultados con otros autores.*

MUCILAGO DE TUNA EN BASE SECA -MTBS						
Autor	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Carbohidratos (%)	Ceniza (%)	Fibra (%)
Almendarez, (2004)	7.56	5.6	0.47	55.32	0.47	0.47
Sepulveda. et al, (2006)	5.6	7.3	-----	49.47	37.3	-----
Rodriguez. et al (2007)	7.31 ± 0.03	11.39 ± 1.24	1.96 ± 0.02	48.5	23.24 ± 1.17	F.S: 14.91± 1.09 F.I: 41.65 ± 1.32
Abrajam, (2008)	----	3.65	0.75	72.3	22.78	0.52
Martines. et al, (2012)	-----	7.39	----	58.77	----	----
Bayar, et al (2016)	10.25	0.92	---	63.45	35.52	----
Silva, (2017)	25.98 – 40.72	4.22 – 14.12	0.10 – 0.35	77.78 – 93.65	2.01 – 8.47	----

Gonzales, (2019)	13.26	9.83	5.11	66.93	17.46	12.36
Resultado	6.40	5.98	2.16	83.41	2.05	3.76
Investigacion						

MUCILAGO DE TUNA EN BASE HUMEDA - MTBH

Autor	Humedad	Proteinas	Grasas	Carbohidratos	Ceniza	Fibra
Sepulveda. et al, (2006)	91.9	----	----	----	----	----
Rodríguez. et al, (2007)	92.69	----	----	----	----	----
Hong. et al, (2012)	13.69	4.81	----	52.83	28.67	----
Silva, (2017)	64 – 74.02	1.43 – 5.45	0.04 – 0.15	20.21 – 64.85	0.68 – 2.20	----
Resultado	98.08	0.12	0.05	1.70	0.04	0.21
Investigacion						

- DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE MTBS Y MTBH
DOSIS DE MUCILAGO DE TUNA EN BASE SECA

La investigación realizada arroja un porcentaje de remoción de 73.75% a una dosis de 0.5gr/l, con una disminución en la cantidad de la dosis, demostrándose la eficiencia del mucilago como coagulante, a dosis bajas es más efectivo debido a la capacidad del polisacárido de aglutinar partículas de manera eficiente obteniéndose mejores resultados en la remoción de turbidez, el tratamiento con MTBS mejora el pH de 6.1 a 6.6 y forma floculos compactos disminuyendo el volumen de lodo producido.

Comparando los resultados con estudios anteriores, **Almendarez, (2004)** obtuvo un porcentaje de remoción del 91.33% utilizando el mucílago seco de tuna, aplicando una concentración de 30 mg/l en agua turbia artificial. **Silva, (2017)** preparó una solución de agua sintética turbia con caolín, donde logró porcentajes de remoción entre el 78.7% y el 88.9% al utilizar una concentración de 30 ppm de mucílago seco. **López, (2018)** en su investigación, utilizó agua sintética con arcilla y obtuvo porcentajes de remoción del 54.3% para una turbidez de 20 NTU, del 71.12% para una turbidez de 100 NTU y del 83.78% para una turbidez de 500 NTU, utilizando dosis de 30 mg/l al 2% de concentración. En el estudio más reciente de **Álvarez. et al, (2021)**, obtuvieron un porcentaje de remoción del 83.8% utilizando la dosis de 90 mg/l de mucílago seco en una muestra de agua sintética con una turbidez de 500 NTU.

DOSIS DE MUCILAGO DE TUNA EN BASE HÚMEDA

El tratamiento B con MBH, obtuvo un porcentaje de remoción de turbiedad entre el 63.66% - 45.82%. Destacando la dosis de 10ml de mucílago de tuna en BH con un porcentaje de remoción de turbiedad del 63.66% con un promedio de turbidez final de 44.02NTU

Al comparar estos resultados con investigaciones previas, se encontró que **Apaza, (2013)** en 500ml de muestra del río Chili redujo la turbiedad_(o) de 41.2NTU a 18.34NTU de turbiedad final con un porcentaje de remoción de 55.49% al aplicar un mucílago de tuna en BH al 80%. Por otro lado, **Suárez. et al, (2019)** utilizó mucílago de tuna en BH al 50% y logró reducir la turbidez en un rango de 210 NTU a 65 NTU, aplicando dosis de 40 ml (T1), 50 ml (T2) y 60 ml (T3) obteniendo un porcentaje de remoción del 69.05% (T3) en aguas residuales del Dren 4000-Santa Rosa. Evidenciando una proporción directa referente a la disminución de turbidez, a turbidez inicial alta mejores resultados de turbidez final, dependiendo de la característica de la tuna como edad de la penca, el clima, método y tiempo de obtención de mucilago.

3.4.2 Efecto Coadyuvante de la Combinación del Mucilago de la Tuna con Mejor Dosis en la Remoción de Turbidez + Sulfato de Aluminio en la Clarificación de las Aguas Residuales.

MUCILAGO DE TUNA + SULFATO DE ALUMINIO

El Tratamiento 1 y 2 consistió en la aplicación de MTBS y MTBH como coadyuvante al sulfato de aluminio, con el objetivo de evaluar la clarificación de las aguas residuales. Se aplicó la dosis de MTBS (0.5 gr) y MTBH (10ML) por separado a cada recipiente de agua residual con una turbidez inicial de 138.8 NTU. El tiempo de coagulación fue de 20 minutos a una velocidad de agitación de 100 - 150 rpm. A continuación, se agregaron dosis de 5, 10, 15 y 20 ml de sulfato de aluminio diluido en una proporción de 1:1 en agua destilada. Al finalizar este tiempo, se permitió el proceso de floculación a una velocidad de agitación de 30 - 50 rpm durante 5 minutos, seguido de una sedimentación durante 12 horas. Se lograron porcentajes de remoción de turbidez que oscilan entre el 78.05% y el 95.14%, obteniendo una turbidez final entre 30.42 – 6.75NTU. La remoción más alta se alcanzó con una dosis de 0.5 gramos de MTBS + 20 ml de sulfato de aluminio.

Contreras. et al, (2015) al evaluar la eficiencia del nopal como complemento del sulfato de aluminio en aguas del río Magdalena, lograron reducir la turbidez de 89 NTU a 1.78 NTU, obteniendo una remoción del 98% con una dosis de 40 mg/l y una concentración de 10% de nopal y 90% de alumbre. **Silva, (2017)** aplicó una dosis de 30 ppm de tuna en polvo + 90 ppm de sulfato de aluminio al 1%, reduciendo la turbidez de 1000 NTU a 6.15 NTU, con una remoción del 99.39%. **Córdova, (2018)** utilizó 30 ml de mucílago de tuna + 40 ml de sulfato de aluminio, logrando reducir la turbidez de 85 NTU a 12.1 NTU, con una remoción del 85.76%. **Fernández. et al, (2020)** emplearon biopolímero de tamarindo con sulfato de aluminio en aguas residuales del CITRAR, que presentaban una turbidez inicial de 226 NTU, aplicando una dosis de 15 ml de biopolímero + 15 ml de sulfato de aluminio al 5%, logrando reducir la turbidez a 39.9 NTU, con una remoción del 82.36%.

En el Tratamiento 3, con MTBS + $Al_2(SO_3)_3$, Se evidencia que a mayor turbidez inicial (200, 500 y 1000 NTU), aumenta la efectividad del mucílago en la remoción de turbidez y se requiere una mayor cantidad de dosis de coagulante inorgánico, se incrementa la dosis del coagulante natural al mínimo, sin afectar el pH y se reduce la cantidad de lodo producido por la coagulación, el carbohidrato forma una red que atrapa los volúmenes de lodo compactándolos.

3.4.3 Analisis Bacteriologicos y Fisicoquimicos Antes y Despues De Los Tratamientos Comparados con los LMP.

ANALISIS FISICOQUIMICOS

El agua residual de la laguna de estabilización de Querapata arroja una DBO_5 de 280mg/l y la DQO de 560mg/l, demostrando que las aguas residuales municipales contienen gran cantidad de materia orgánica que se puede descomponer por medios biológicos. El tratamiento más efectivo

fue alcanzado por el MTBS, con una reducción a los niveles de DBO₅ a 80mg/l y la DQO a 135mg/l.

Razuri, (2017) empleando 800mg/l de OFI, logro remover la DBO₍₅₎ de 65.4mg/l a 15.42mg/l y la DQO_(o) de 833.04 mg/l a 162.3mg/l obteniendo resultados alentadores. Por otro lado **Choque. et al, (2018)** en su aplicación del 1, 2 y 3% (10 – 20mg/l), en agua artificial (caolin) con una DBO_(o) de 0.57mg/l, incremento la DBO en todos los tratamientos alcanzando una DBO_(f) de $3.66 \pm 0.5\text{mgO}_2/\text{l}$. en contraste **Suarez, (2019)** con 50mg/l de OFI en polvo, redujo la DBO₍₅₎ de 710mg/l a 78mg/l y la DQO de 728mg/l a 98mg/l. **Montenegro, (2019)** aplicando 40ml de OFI humeda no obtuvo resultados alentadores en la muestra de agua de camal, con DBO_(o) de 403mg/l y DQO_(o) de 1890mg/l incremento la DBO_(f) a 488mg/l y DQO_(f) a 2781mg/l **Puma, (2020)** empleando Cloruro ferrico a 240mg/l y OFI a 0.5, 1.0 y 1.5mg.obtuvo una remocion de 26% de DQO de 1496.05 a 388.97mg/l similares para las 3 dosis.

En cuanto a los solidos totales en suspensión (STS), el agua residual obtuvo una cantidad de 190mg/l, se obtuvo una mejor remocion con el MTBS con un resultado de 28mg/l. **Castillo. et al, (2018)** aplico 80% de mucilago de tuna en base humeda, removiendo los SST_(o) de 2415mg/l a SST_(f) 1029mg/l. **Chuiza. et al, (2019)** en agua residual de industria lactea, con OFI en polvo a dosis de 20ml al 2% (400ppm), redujo los SST de 7732mg/l a 5400mg/l. El resultado de la investigacion indica que el MTBS no deja ningun residuo toxico y disminuye en cantidad y el volumen del floc presentando un floc pequeño y compacto.

Respecto a la remocion de los Aceites y Grasas, el agua residual arrojó una cantidad de A y G_(o) de 28mg/l, medida que no se encuentra muy elevada en comparacion de industrias que procesan aceites y grasas, lacteos o aguas residuales de restaurantes, cocinas, comedores, etc. Se logro la mejor remocion con la combinacion del MTBS + Sulfato de aluminio a 8mg/l, seguido

del MTBS a 16mg/l, encontrándose todos los resultados dentro de los LMP. **Alegre. et al, (2021)** en aguas residual de industria de refinado de aceite de soja, con A y G_(o) de 2108.40mg/l aplicando harina de tuna a 400mg/l, obtuvo una remocion de 99.54% con de A y G_(f) de 68mg/l.

En lo que concierne al pH y Temperatura, la muestra piloto presenta un pH de 6.1 y temperatura de 15°C, respecto a la temperatura no hubo modificacion, la temperatura de 15°C se mantuvo en todos los tratamientos realizados. Es necesario que la temperatura se mantenga y no disminuya ya que la disminucion de 1°C, produce una variacion en la visocidad y se afecta la energia cinetica de los solidos suspendidos, dificultando la sedimentacion del floc. (Andia, 2000). Respecto al Ph, se obtuvo una moficiacion al pH_(o) de 6.1, a 6.6 con el MTBS. Para la aplicación del mucilago de tuna como coagulante natural, no es un requisito modificar el pH inicial, mientras que para que el caagulante inorganico presente mejor reactividad, necesita un pH entre el 6.0 – 8.0 (Andia, 2000), si el pH inical no se encuentra en estos rangos, necesita un pretratamietno con cal o algun acido para modificiar el pH y ocurra eficientemente la cogulacion.

ANALISIS BACTERIOLÓGICOS

En cuanto a la aplicación del mucilago, el tratamiento A con MTBS arrojó una cantidad de $9 \times 10^{45}/100\text{ml}$, el Tto B con MTBH un resultado de $6 \times 10^{30}\text{NMP}/100\text{ml}$ y el Tto 1 con MTBS + sulfato de aluminio, obtuvo el resultado de $8 \times 10^5\text{NMP}/100\text{ml}$, los resultados con el mucilago de tuna en base seca, húmeda y la combinación de MTBS + Cg. In, Es relevante notar que los resultados obtenidos con respecto a la reduccion de los coliformes termotolerantes con el mucilago de tuna, no logran una reduccion a nivel de los LMP.

Sin embargo si existe una reduccion sustancial de los coliformes termotolerantes esto se atribuye a la capacidad del mucilago de tuna para atrapar y encapsular a gran parte de los coliformes dentro del floc. Por otro lado el MTBS logra atrapar los coliformes en el floc pero

pasando un lapso de tiempo conforme a su composición con ácido D-galacturónico, D-galactosa permite a los coliformes utilizar estos compuestos como fuente de energía, lo que resulta en su crecimiento y reproducción acelerada, limitando la eficiencia de la reducción

Cotejando los resultados con investigaciones anteriores, se encontró estudios de **Inga, (2019)** aplicando mucilago de tuna liofilizada en dosis de 600 – 800 y 60 – 80mg/l aumento la cantidad de coliformes termotolerantes de 70 000NMP/100ml a 13×10^4 – 16×10^6 NMP/100ml, disminuyendo la dosis entre 2.5 – 7.5mg/l obtuvo de 20100 – 7460 NMP/100ml. **Apaza, (2013)**, con el MTBH al 80% a 200ml en el tratamiento de aguas del río Chili, disminuyó la cantidad de coliformes termotolerantes de 22×10^6 a 15×10^6 NMP/100ml aplicando un filtro de carbono activado llegó hasta 2000NMP/100ml y **Payares. et al, (2011)**, con mucilago fresco en dosis de 750mg/l, a 200rpm por 1min, obtuvo una reducción del 49% reduciendo de 83NMP/100ml a 65NMP/100ml de CT.

CONCLUSIONES

El mucilago de tuna en base seca exhibe niveles elevados de proteínas 5.98%, grasas 2.16%, cenizas 2.05% y fibra 3.76% en comparación con el mucilago de tuna en base húmeda, se destaca el contenido de carbohidratos de 83.41% con alto contenido de polisacáridos confiriéndole la característica de coagulante natural. El MTBS a dosis de 0.5gr/l logro una remoción de turbidez de 73.75% con turbidez promedio de 31.8NTU mientras que el MTBH a dosis de 10ml/l alcanzo una remoción de 63.66% con turbidez promedio de 44.02NTU. El análisis de ANOVA de 2 vías muestran un Pvalor de 0.000, confirmando que el mucilago de tuna tiene efecto de coagulante natural en la remoción de turbidez

El efecto coadyuvante de la combinación del mucilago de tuna + sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas residuales; la dosis de 0.5gr/l de MTBS + 20ml/l de $Al_2(SO_4)_3$ alcanzo una remoción de 95.14% con una turbidez promedio de 6.75NTU y la dosis de 10ml de MTBH + 20ml/l de $Al_2(SO_4)_3$ removi6 90.56 % obteniendo una turbidez promedio de 13.08 NTU y el análisis de ANOVA 2 vías, arrojan un Pvalor de 0.000 en la combinación del mucilago de tuna + $Al_2(SO_4)_3$, demostrando el efecto de coadyuvante al $Al_2(SO_4)_3$.

Los análisis fisicoquímicos de la aplicación del MTBS, se encuentran dentro del rango de los LMP D.S. 003 – 2010 MINAM; en contraste los resultados bacteriológicos indican una reducción sustancial de los coliformes totales con respecto al agua residual de la laguna de estabilización, sin embargo, no cumplen con los LMP D.S. 003 – 2010 MINAM

Se concluye, que el mucilago de *Opuntia ficus - indica* (tuna) tiene efecto como coagulante natural y coadyuvante al sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la laguna de estabilización de Querapata, Distrito de Chinchero.

RECOMENDACIONES

- Optimización del mucilago de tuna para procesos industriales con aditivos naturales o químicos en combinación para la reducción i/o eliminación de coliformes totales y aplicarlos en muestra de agua residual
- Estudiar, el poder coagulante del mucilago de tuna u otras cactáceas en la adsorción de los metales pesados de aguas residuales mineras.
- Investigar el papel antimicrobiano de los azúcares en el mucílago de tuna: para evaluar cómo estos azúcares pueden influir en la inhibición atrapando en el coagulo bacterias o en el crecimiento de microorganismos, particularmente los coliformes totales.
- Investigar la aplicación de biomasa de mucílago de tuna en polvo en una laguna de estabilización, desviando el flujo a un pozo para analizar volumen, caudal, materia orgánica, inorgánica, cantidad de biomasa aplicada, volumen de agua tratado, turbidez, etc. Luego, se sugiere pasar el agua tratada por un filtro de carbón activado, arcilla activada o sílice gel para mejorar la eficacia del tratamiento y garantizar una calidad adecuada en el efluente
- Se sugiere el cultivo de *Opuntia ficus – indica* (tuna), por su adaptabilidad a suelos con limitantes de agua junto con el aprovechamiento de la cochinilla (*Dactylopius coccus*)

BIBLIOGRAFIA

- Alegre , V. P., & Mendoza , R. E. (2021). Coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales de refinación del aceite de soya, Chosica – 2021. Lima - Perú: UCV.
- Almendaréz de Quezada, N. (2004). COMPROBACION DE LA EFECTIVIDAD DEL COAGULANTE (COCHIFLOC) EN AGUAS DEL LAGO DE MANAGUA "PIEDRAS AZULES". Managua - Nicaragua: Revista Iberoamericana de Polímeros.
- Alvarez Ancalla , N., & Ccahua Ocon, S. T. (2021). *REMOCION DE TURBIDEZ USANDO BIOCOAGULANTES “Echinopsis peruviana y Opuntia ficus indica” EN MUESTRAS CON SUELO DEL RÍO TUCUIRI, SANTO TOMAS*. Lima - Peru : Universidad San Ignacion de Loyola .
- Amaya Robles , J. E. (2009). “EL CULTIVO DE TUNA” Opuntia ficus indica. Trujillo - Perú: Gerencia Regional Agraria La Libertad - Trujillo.
- Andia Cardenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación* . Lima: SEDAPAL.
- Apaza , A. H. (2013). *Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificacion de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa* . Arequipa - Perú: Economía y sociedad 82, CIES, FONAM.
- Arriols, E. (06 de Agosto de 2018). *EcologiaVerde*. Obtenido de EcologiaVerde: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Bear, R., & Rintol, D. (2018). *Vias Fotosinteticas*. Obtenido de OpenStax CNX, CC BY-NC-SA 4.0: <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-and-cam-plants-agriculture>

- BELZONA INC. (2010). Tratamiento de aguas residuales. En *Tratamiento de aguas residuales* (págs. pg 01 -03, pg 9-12, pg 18-21). Miami, USA: Mapa de la plata.
- C. Howard, M. (2023). *ANOVA de Dos Vías en Jamovi*. Obtenido de <https://mattchoward.com/anova-de-dos-vias-en-jamovi/>
- Cabrera Martínez , N. C., del Pilar Simancas, E., Simancas Vásquez, E., Ayala Jiménez, J., & Almanza Caraballo , K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et Technica Vol. 22*, pg109 - pg112.
- Campo Vera , Y., Delgado , M. A., Roa , Y., Mora , G., & Carreño Ortiz, J. (2018). *Evaluacion preliminar del efecto del Quitosato y cascara de naranja en la coagualacion - floculacion de aguas residuales*. Arauca - Colombia: U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 21.
- Cárdenas , A., Higuera Ciapara, I., & Goycoolea, F. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution. *Journal of the professional association for cactus development*.
- Carril, F. A., Gómez , G. Y., & Vásquez , M. H. (2020). “EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) Y DEL ENDOSPERMO DE MORINGA (*Moringa oleífera lam*) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY, 2018”. Pucullpa - Perú: Universidad Nacional de Ucayali.
- Castillo, V. J., & Silva , G. I. (2018). EFECTO DEL COAGULANTE- FLOCULANTE OBTENIDO DEL CACTUS DE NOPAL EN LA TURBIDEZ, DBO5 Y SÓLIDOS

TOTALES DEL EFLUENTE DE LA EMPRESA CASA GRANDE S.A. Trujillo - Perú:
Universidad Nacional de Trujillo .

Chacon , B. F., & Huampotupa , C. C. (2021). Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramírez, Anta – Compone. Cusco - Peru : UNSAAC.

Choque , Q. D., Choque , Q. Y., Solano , R. A., & Ramos , P. B. (2018). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua*. Cusco - Perú: Tecnología química, redalyc.

Chuiza Rojas , M. R., Calderón Segundo, H., Vargas Escobar , J. A., Borja Mayorga, D. F., & Rennola Alarcon, L. (2019). *Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (Opuntia ficus indica)*. Venezuela: Ciencia e Ingeniería, vol. 40, núm. 3.

CONSORCIONORTE. (2014). *Diagnostico de la situacion actual del sistema de agua y alcantarillado del distrito de Chinchero*. Cusco - Chinchero: Consorcio norte.

Contreras Lozano, K. P., Mendoza Jairo, Y. A., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. (2015). El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante complementario en la clarificación de agua. *Produccion+Limpia*, 40 - 50.

Córdova Merino , E. A. (2018). Aplicacion de sulfato de aluminio y tuna (Opuntia ficus-indica) para la remocion de materia organia y turbidez de las aguas residuales del camal municipal de Tumán 2018. Chiclayo - Perú: Universidad Cesar Vallejo - facultad de ingenieria.

Cortéz Martinez , F., Trevino Cansino , A., & Tomasini Ortiz, A. C. (2017). Dimensionamiento de lagunas de estabilizacion . Mexico, Juarez: IMTA.

Cortina , A. E. (2020). Propiedades fisicoquimicas del mucílago de nopal químicamente modificado. Xalapa - Veracruz: Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Basicas.

- De la Vega , M. Y. (2012). Eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales. En *Eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales - contribucion a la gestion y desarrollo social* (págs. pg 47 - pg 58). Mexico: ISBN.
- DGAA. (2017). *Evaluacion de los monitoreos de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales, presentados por los prestadores de servicios de saneamiento para el periodo 2017*. Lima : Direccion General de Asuntos Ambientales, Ministerio de Vivienda, Construccion y Saneamiento pg:18-20.
- Díaz Claros , J. N. (2014). *Coagulantes - Flocculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas*. San Pedro Sula Cortéz : Universidad Pedagogica Nacional Pedro Morazán.
- Diaz Delgado, C., Fall, C., Quentin , E., Jimenez Moleon , M., & Esteller Alberich , M. (2003). Capitulo 20. En *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (págs. pg 224 - 229). Colombia: CYTED XVII, Programa iberoamerica de ciencia y tecnologia para el desarrollo.
- DIGESA. (2007). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hidricos Superficiales - Direccion de Ecologia y Proteccion del Ambiente Área de los Recursos Hidricos*. Lima - Perú: Ministerio de Salud - DIGESA.
- F&N, (2019). *fibrasynormasdecolombia.com*. Obtenido de https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/coagulacion-floculacion-definicion/#google_vignette&as_qdr=y15
- Fernández Gutiérrez, Y., & Ruiz Humán , C. (2020). Tratamiento de agua residual mediante la aplicacion de sulfato de aluminio y biopolimero natural de tamarindo (*Tamarindus indica*).

- Lima - Perú: Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo (2020) Volumen 6 Número (2).
- Normas de Colombia S.A.S. (21 de Agosto de 2018). <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/>.
Obtenido de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/definicion-y-caracteristicas-de-las-lagunas-de-oxidacion/>
- FLATEN. (2001). *Aluminium as a risk factor in Alzheimer´s diseases, with emphasis on drinking water*. Trondheim: Department of Chemistry, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- FONAM. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales del Perú. En M. G. Rossi Luna, *OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ* (págs. pg 02 - pg21). Lima - Peru: Fondo Nacional del Ambiente - Perú (FONAM).
- García Pérez , A., & Rojas Vargas , A. (2006). Comparacion de los floculantes CHEMAD A-41, 42 Y 43 de la firma CHEMATEK, EL IP-600 de la firma ZARCIA y EL PERCOL, version canadiense del del MAGNAFLOC R-155. Santiago de Cuba, Cuba: Tecnologia Quimica vol XXVI.
- Gil , M. (2020). Obtenido de www.iagua.es: <https://www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/nuevos-conceptos-caracterizacion-agua-residual-industrial>
- Gil, M.(2021). *¿como diseñar y formar un buen floc?* Obtenido de [iagua.es](http://www.iagua.es): <https://www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/como-disenar-y-formar-buen-floc>
- Gómez Puentes, N. A. (2005). Remoción de materia organica por Coagulación - Floculación. Colombia - Manizales: Universidad Nacional de Colombia - sede Manizales.

- González Avilez , E. (2019). *Efecto de la composición química de mucilagos en la remoción de metales pesados de aguas contaminadas*. Yautepec, Morelos - Mexico: Instituto Politécnico Nacional Centro de Desarrollo de Productos Bióticos .
- Gutierrez, E., Oñate, H., Rodríguez, Y., & Caldera, Y. (2011). *Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola*. Venezuela: Impacto científico .
- HANNAINSTRUMENTS.(2018). *www.higieneambiental.com*. Obtenido de Importancia de la turbidez en la técnica instrumental: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>
- Huamán, I. S., & Jordán, J. C. (2013). *Tratamiento de los lixiviados de Jaquira con coagulantes naturales* . Cusco : Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco .
- Huanca Alca, J. J. (2017). *Evaluar los parámetros durante el tratamiento térmico para obtención de mucílago de la penca de tuna (Opuntia ficus - indica)*. Puno - Peru: Universidad Nacional del Altiplano - Facultad de Ciencias Agrarias.
- Huerta Calleja, K. (2022). *contyquim.com*. Obtenido de <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>
- Ibanez, A. (2017). *www.nihonkasetu.com*. Obtenido de <https://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>
- ICONTEC. (2010). Norm Técnica Colombiana NTC3903. En *Procedimiento para el ensayo de coagulación - floculación en un recipiente con agua o Método de test de jarras* (págs. pg 01 - pg09). Bogotá - Colombia: ICONTEC - Instituto colombiano de normas técnicas y certificación.

- Inga Diaz, G. (2019). *Disminución de coliformes totales y turbidez mediante coagulantes naturales (Opuntia ficus - indica), del rio Cunas, provincia de Chupacas*. Huancayo - Perú: UNCP - Universidad Nacional del Centro del Perú.
- ITINTEC. (1987). *Normas tecnicas 214.003 y 214.009 para el control microbiologico de aguas* . Lima - Perú: ITINTEC.
- ITOXDEF. (2016). *Protocolo de toma de muestra de agua residual* . Lima - Perú: Insituto de la Toxicologia de la Defensa.
- López , P. M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus - indica como coagulante natural en el tratamiento de aguas*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina
- Lorenzo Acosta, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación - floculación*. Cuba - La Habana : instituto cubano de investigacion de los derivados de la caña de azucar - ICIDCA.
- Lutenberg, O. (2012). *Tratamiento sanitario de aguas residuales* . Lima : ANA .
- Martínez Orjuela , M. R., Mendoza Coronado , J. Y., Medrano Solís, B. E., Gómez Torres, L. M., & Zafra Mejía , C. A. (2020). *Evaluacion de la turbiedad como párametro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal*. *Revista UIS Ingenirias*, vol 19, pg 16-17.
- Martínez, G. J., & González, S. L. (2012). *EVALUACIÓN DEL PODER COAGULANTE DE LA TUNA (Opuntia ficus indica) PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ Y COLOR EN AGUAS CRUDAS*. Cartagena de Indias - Colombia : Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química.

- Melendez, J. (2002). *Determinación de los parámetros óptimos en el aprovechamiento de la penca de tuna (Opuntia ficus-indica) como alimento neuroceutico*. Arequipa - Peru: Universidad Nacional de San Agustín.
- MIDAGRI. (2021). Analisis de mercado tuna 2015 - 2021. Lima: sierra y selva exportadora .
- Minaees. (2016). *Analisis de aguas*. Cartagena, España: UPCT (Universidad Politecnica de Cartagena).
- MINAM. (2009). Tratamiento y reuso de aguas residuales. En Minam, *Guia/Manual: Manual de municipios ecoeficientes* (págs. pg 20 - 21). Lima: Ministerio del Ambiente - MINAM.
- Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento. (11 de Marzo de 2019). *Decreto Supremo 0.10 - 2019 - vivienda*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>
- MISAN. (2021). *Vigilancia epidemiologica - ambiental de las aguas residuales SARS-CoV-2*. España: Ministerio de sanidad Direccion general de salud publica.
- Montenegro Valdivia, J. P. (2019). “*Comparación de la eficiencia del mucílago de Opuntia ficus indica y goma de Caesalpinia spinosa en la mejora de la calidad de agua residual de camal*”. Chiclayo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Mora Alvarado, D., & Mata Solano, A. V. (2003). “*Conceptos básicos de aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales*”. Costa Rica: AyA Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados laboratorio nacional de aguas.
- MTCVC. (2015). *Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Lima : ministerio de vivienda .

- MVCS. (2009). Reglamento nacional de edificaciones - RNE. En c. y. Ministerio de vivienda, *Norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales N°022-2009* (págs. pg 26 - 27, pg 29 - 38 y pg 60 - 61). Lima - Perú: El peruano.
- MVCS. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales* . Lima - Perú: OMA - MVCS (Oficina de medio ambientes - ministerio de vivienda, construcción y saneamiento).
- Novoa, S. (2006). *Sobre el origen de la Tuna en el Perú algunos alcances*. Lima: Zonas aridas N° 10 ISSN 1013-445X (VI), ISSN 1814-8921 (VE).
- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales* . Lima : www.oefa.gob.pe.
- OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable . En O. m. salud. Geneve - Suiza : Organización mundial para la salud, Volumen 1.
- OMS. (2017). Guías para la calidad del agua potable. Suiza: Organización Mundial de la Salud, primer apéndice, tercera edición vol I.
- OMS. (21 de Marzo de 2022). www.who.int. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis>.
- Ortiz Ramírez, C. H. (2008). las plantaciones de nopal tunero como opción para la rehabilitación de ambientes semiáridos degradados en los llanos de Ojuelos. Mexico - Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Payares Ramos, P., Rodiño Argüello, J., Villadiego Lorduy, J., Rodríguez González, K., Cortecero Bossio, A., & Garzón Barrero, N. (2011). Coagulante natural de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la potabilización de agua. En *Alternativas de sostenibilidad ambiental*

- para comunidades en el departamento de Córdoba* (págs. pg 86 - pg 102). Medellín - Colombia: Universidad Pontificie Bolivariana.
- Pérez , L. (2005). *teoria de la sedimentacion*. Instituto de ingeniería sanitaria y ambiental .
- Pérez Garay, I. F. (2015). Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto. Huancayo- Perú: Universidad del Centro del Perú.
- Puma Condori , 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*. Arequipa - Peú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa .
- Quispe Jiménez, H. G. (2012). *Aplicación del mucílago extraído de nopal (Opuntia ficus-indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma*. Tacna-Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA.
- Raffo Lecca , E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Lima - Perú: Industrial Data 17(1), 71-80.
- Ramirez, F. (04 de Septiembre de 2023). <http://www.elaguapotable.com/index.htm>. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>
- Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2003). El agua en el medio ambiente - Muestreo y analisis. Baja California: ISBN 970-9051-62 8.
- Razuri Malqui, K. E. (2017). *“Disminución del contenido de la DBO5 y la DQO mediante coagulantes naturales (Aloe Vera L. y Opuntia ficus indica) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres”*. Lima - Perú: UCV.

- Rivas Romero , S., Menés Vuelta, G., & Rómulo Rodríguez, A. (2017). *Tratamiento por coagulación - floculación a efluente de la empresa Níquel comandante Ernesto Che Guevara*. Cuba - La Habana: CEDINIQ.
- Rodríguez Garcia, M., de Lira, C., Hernández Becerra, E., Cornejo Villegas , M., Palacios Fonseca, A., Rojas Molina, I., . . . Muñoz Torres, C. (2007). Physicochemical Characterization of Nopal Pads (*Opuntia ficus indica*) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation. En *Plant Foods for Human Nutrition* (págs. pg 108, pg111). Queretaro - Mexico: # Springer Science + Business Media, LLC 2007.
- Rossi , M. G. (2010). *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. Lima : FONAM .
- Ruiz Romero , E. (2011). coagulación - floculación. iapruee.
- Sepúlveda, E., Sáenz , C., Aliaga , E., & Aceituno , C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. Santiago - Chile: Journal of Arid Environments 68.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga , E., & Aceituno, C. (2007). *Extraction and characterization of mucilage in Opuntia spp.* Santiago-Chile: Journal of Arid Environments 68, pg 534–545.
- Severiche Sierra, C. A., Castillo Bertel, M. E., & Acevedo Barrios, R. L. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Cartega de Indias, Colombia: Biblioteca virtual Eumed.net.
- Silva Casas, M. N. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación . floculación de aguas turbias* . Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Química e Ingeniería Química .
- SINIA. (2017). *Cifras ambientales* . Lima : Ministerio del Ambiente .

- Suárez Asalde, C. A. (2019). “*Eficiencia de la Opuntia ficus-indica y Moringa oleífera para mejorar la calidad de aguas residuales*”. Chiclayo - Perú: UCV.
- Suárez Asalde, C. A., & Monteza Arbulú, C. (2019). “*Eficiencia de la Opuntia ficus - indica y Moringa Oleífera para mejorar la calidad de aguas residuales*. Chiclayo - Peru: Universidad Cesar Vallejo - Facultad de Ingenieria .
- SUNASS. (2016). *Diagnóstico de las planta de tratamiento de aguas resdiuales en el ámbito de las operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento 2da edición*. Lima - Peru : GIZ.
- Toapanta Vera, M. I. (2009). Aceites y Grasas. En *Calidad del agua* (págs. Pg 01 - 04). Guayaquil - Ecuador: ESPOL (Escuela superior politecnica del litoral).
- Trachtemberg , S., & Mayer , A. M. (1981). Composition and properties of Opuntia ficus indica mucilage. *Phytchemistry* .
- UNESCO;. (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado* . Paris - Francia: Organizacion de las naciones unidas para la educacion, la ciencia y la cultura.
- Vaca-Mier, M., Lopéz , C. R., Flores, R. J., Terres , P. H., Lizardi, R. A., & Rojas , V. N. (s.f.). Aplicacion de nopal (Opuntia ficus - indica) como coagulante primario de aguas residuales . *AIDIS - Ingenieria y ciencias ambientales: investigacion, desarrollo y practica*, 7(3).
- Vidal , G., & Araya , F. (2014). *Las aguas servidas y su depuracion en zonas rurales: situacion actual y desafios*. Chile : Universidad de Concepcion .
- Villabona Ortiz , Á., Paz Astudillo , I. C., & Martínez García , J. (2013). Caracterizacion de la Opuntia ficus - indica para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología* , pp. 137-144.

Villanueva , A. J. (2019). *Efecto de tres concentraciones de mucilago de tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Miller) y san pedro (Echinopsis pachanoi (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificacion del agua*. Cajamarca - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca .

WWAP. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. En P. m. (WWAP), *Aguas Residuales. El recurso desaprovechado* (págs. pg 01 - 07). Paris: UNESCO.

Zambrano , P. (2009). *Aguas residuales: clasificacion, características y composicion*.

ANEXOS

Tabla 20*Base de datos sobre los pesos de las pencas de tuna*

Numeración De Las Pencas De Tuna	Peso De Las Pencas (Gr)	Peso Penca Sin Cutícula (Gr)	Peso De Pencas Trozadas (Gr)
Penca 01	1327	1214	1194
Penca 02	1331	1220	1186
Penca 03	1205	1066	1030
Penca 04	827	848	822
Penca 05	664	765	741
Penca 06	1323	1188	1164
Penca 07	1329	1189	1159
Penca 08	1266	1130	1098
Penca 09	1158	1024	1000
Penca 10	796	708	690
Penca 11	1265	1128	1112
Penca 12	664	577	563
Penca 13	1070	966	943
Penca 14	1900	1765	1748
Penca 15	2044	1854	1820
Penca 16	1549	1366	1348

Tabla 21*Lectura completa de turbidez de los tratamientos realizados*

Muestra Piloto	Tto A	Tto B	Cg. In.	Tto 01
O Tto Cero	MTBS	MTBH		MTBS + Cg In.
121.1	30.6	44.5	24.2	39.3
121.0	31.6	43.1	25.1	39.3
119.9	32.1	44.2	24.8	42.0
123.4	31.8	47.9	27.7	42.9
120.2	32.9	44.4	26.5	42.0
121.12	43.9	62.2	25.7	41.1
120.5	45.8	61.8	28.0	15.8
119.6	45.6	62.0	28.9	15.63
120.25	45.7	62.1	28.0	16.42
118.6	46.4	63.2	26.4	16.52
121.4	48.4	67	25.6	15.24
121.7	46.2	66.8	27.4	15.9
120.9	56.4	67.9	18.0	19.25
119.9	54.6	66.2	17.5	19.53
124.8	55.9	66.9	20.4	19.86
138.8	57.23	66.5	22.9	18.97
127.5	57.1	66.4	17.5	18.62
134.6	56.2	66	19.3	19.25
132.9	68.6	65.3	12.7	12.94

137.8	63.0	66.6	13.4	13.22
136.6	64.9	64.5	13.6	13.13
132.4	64.0	62.8	13.5	12.99
138.6	69.6	64.8	11.9	12.61
134.95	66.1	63.4	13.0	12.98

Prueba de ANOVA de 2 Vías para Evaluar el Efecto de coagulante orgánico de la tuna en su forma de MTBS y MTBH

Tabla 22

Formulación de Hipótesis para efecto de coagulante orgánico del MT

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales El MT no tiene efecto de coagulante orgánico
Hipótesis alterna	Al menos una media es diferente El MT tiene efecto de coagulante orgánico
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Tabla 23*Información de la prueba de ANOVA de 2 factores*

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Dosis	Independiente	5	0.0, 0.5gr, 1.0gr, 1.5gr, 2.0gr,
MTBS			
Dosis de	Independiente	5	0, 10ml, 20ml, 30ml, 40ml
MTBH			
Método	Codificación de factores (-1, 0, +1)		

Tabla 24*Promedio de las medias de la turbidez del MTBS y MTBH*

AR Qpata:	MTBS (gr/l)				MTBH (ml/l)			
121.12 NTU								
Dosis	0.5	1.0	1.5	2.0	10	20	30	40
Lectura de Turbidez (NTU)	30.6	43.9	56.4	68.6	44.5	52.2	67.0	66.5
	31.6	45.8	56.6	63.0	43.1	51.8	66.8	65.7
	32.1	45.6	55.9	64.9	44.2	52.0	67.9	66.0
	31.8	45.7	57.2	64.0	43.9	52.8	66.2	65.3
	32.9	46.4	57.1	69.6	44.4	53.2	66.9	65.6
$\sum_{i=1}^n T_{tos} =$	159	227.4	283.2	329.7	220.1	262	334.8	328.1
\bar{X}_{Tos}	31.80	45.48	56.64	66.02	44.02	52.4	66.96	65.82

Valor F es alto muestra un caso donde la variabilidad de las medias de los grupos es grande en relación con la variabilidad dentro de los grupos. Para rechazar la hipótesis nula de que las medias de los grupos son iguales, necesitamos un valor F alto.

Tabla 25

Analisis de ANOVA de 2 vías para el MTBS y MTBH

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor P
Dosis de MTBS (gr/l)	4	26656.4	6664.10	3564.21	0.000
Dosis de MTBH (ml/L)	4	18822.9	4705.72	2516.79	0.000
Error	37	69.2	1.87		
Total	45	28780.1			

Tabla 26

Resumen del Modelo de Varianza (ANOVA) de un factor

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.36738	99.76%	99.71%	99.63%

Figura 18

Comparación de Tukey al 95% para las dosis del MTBS

Dosis de MTBS	N	Media	Agrupación
0.0 – A.R	26	72.264	A
2.0	5	17.164	B
1.5	5	7.384	C
1.0	5	-3.376	D
0.5	5	-17.056	E

Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes entre los grupos, es decir que varían progresivamente en el efecto de la remoción de turbidez, siendo el valor más bajo el que presenta mejor efecto de entre todos los grupos

Figura 19

Comparación por Parejas de Fisher para el MTBS

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%			
Dosis de MTBS (gr/L)	N	Media	Agrupación
0.0	26	72.264	A
2.0	5	17.164	B
1.5	5	7.384	C
1.0	5	-3.376	D
0.5	5	-17.056	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 27*Comparación de Tukey al 95% para el MTBH*

Dosis de MTBH	N	Media	Agrupación
0.0 – A.R	26	64.132	A
Qpata			
30	5	9.972	B
40	5	9.172	B
20	5	5.272	C
10	5	-12.068	D

Las medias entre los grupos son diferentes, excepto las del grupo B con dosis de 30 y 40ml/l que indican que las medias de este grupo tuvieron igual o similar efecto en la remoción de turbidez obtenido turbidez final similares o iguales.

El mejor resultado es el grupo D con dosis de 10ml/l ya que tiene la media más baja en la remoción de turbidez.

Figura 20

Comparación por parejas de Fisher para el MTBH

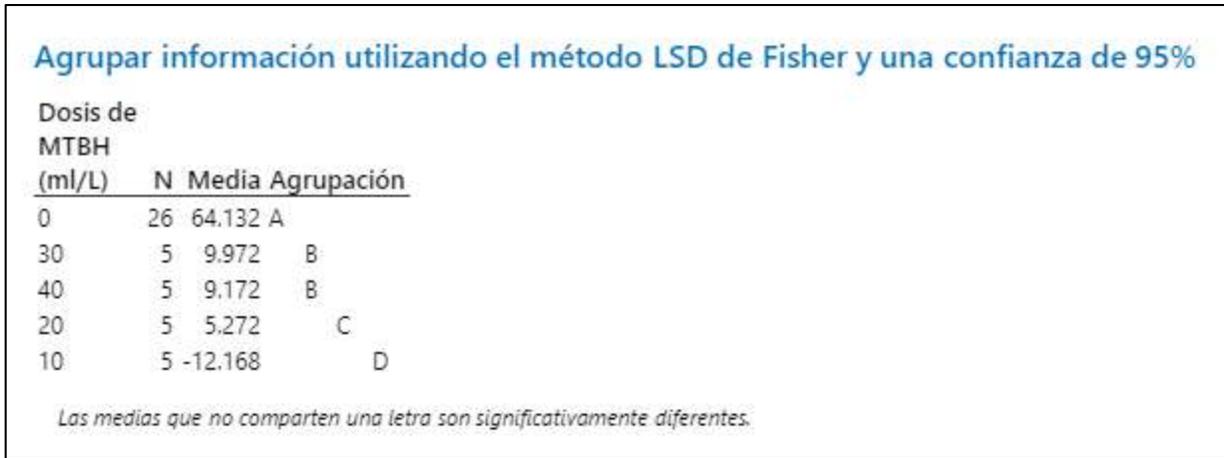
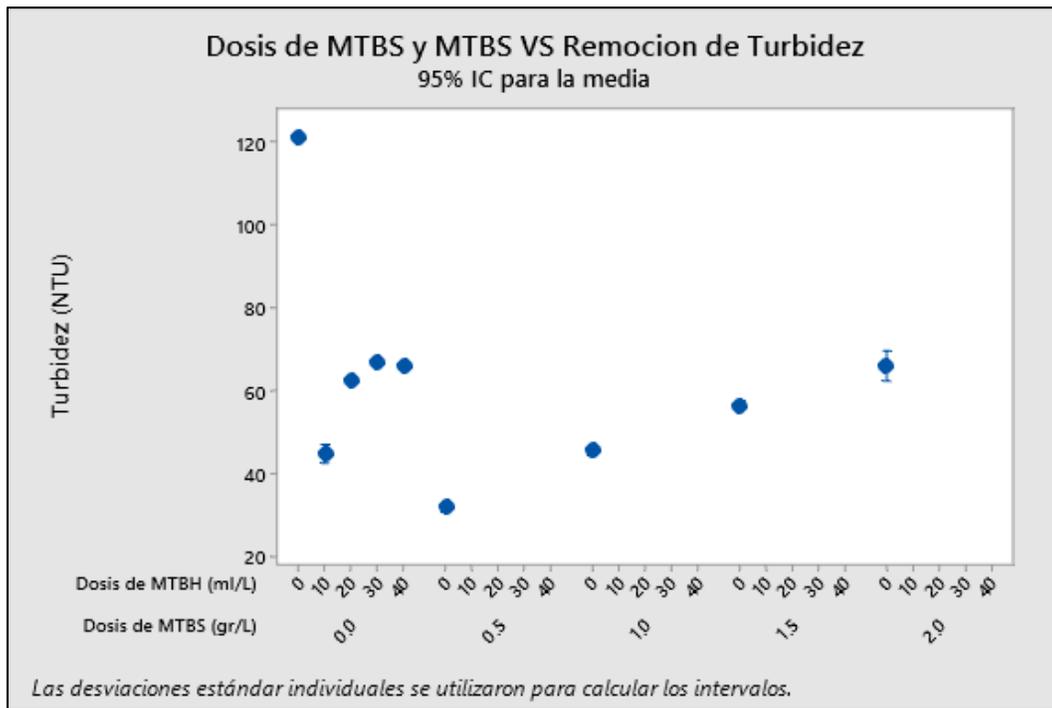
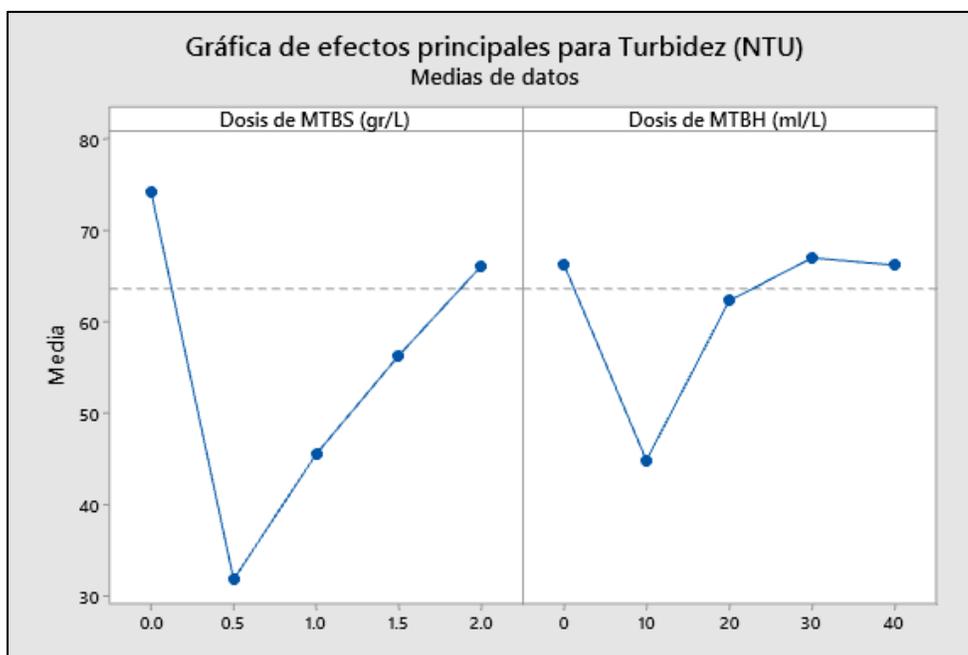


Figura 21

Graficas de intervalos MTBS x MTBH VS Remoción de Turbidez



Grafica de Efectos Principales



Fuente: Elaboración propia

Prueba de ANOVA de 2 vías para Mucilago de Tuna y Cg In

Resumen del ANOVA de 2 factores para encontrar el efecto coadyuvante del mucilago de tuna + el coagulante inorgánico sulfato de aluminio.

Tabla 28

Información de los factores independientes para el efecto coadyuvante

Método:	Codificación de (-1, 0, +1)		
	Factores		
Factores	Tipo	Niveles	Valores
Dosis de MTBS/MTBH	Independiente	2	A (0.5gr/l), B (10ml/l)
Dosis de Cg In $Al_2(SO_4)_3$	Independiente	4	5, 10, 15, 20ml/l

Tabla 29

Análisis de Varianza de 2 vías

Fuente	Grados de libertad	SC Ajust	CM Ajust	Valor F	Valor P
Dosis de A/B	1	65.54	65.54	94.65	0.0000
Dosis de Al₂(SO₄)₃	3	3587.60	1195.87	1727.17	0.0000
Dosis MT*Dosis de Cg In	3	644.95	214.98	310.49	0.0000
Error	32	22.16	0.69		
Total	39	4320.24			

Figura 22

Datos del ANOVA 2 vías - Minitab19

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis de Mucilago de tuna	1	65.54	65.54	94.65	0.000
Dosis de Cg In (ml)	3	3587.60	1195.87	1727.17	0.000
Dosis de Mucilago de tuna*Dosis de Cg In (ml)	3	644.95	214.98	310.49	0.000
Error	32	22.16	0.69		
Total	39	4320.24			

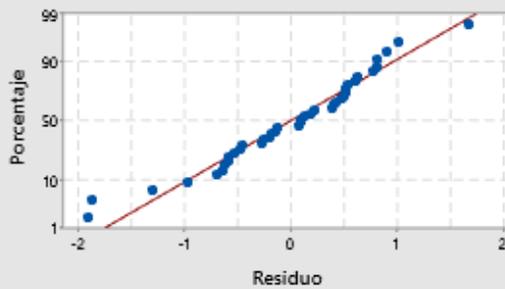
S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.832097	99.49%	99.37%
		99.20%

Medias

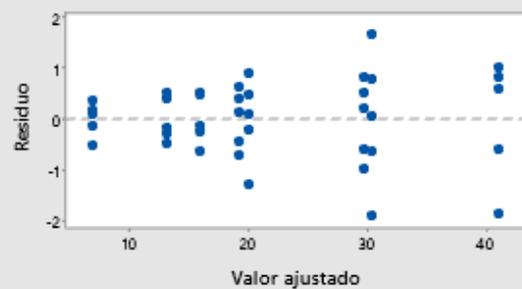
Término	Media ajustada	Error estándar de la media
Dosis de Mucilago de tuna		
A	20.735	0.186
B	23.295	0.186
Dosis de Cg In (ml)		
5	35.800	0.263
10	24.403	0.263
15	17.944	0.263
20	9.913	0.263
Dosis de Mucilago de tuna*Dosis de Cg In (ml)		
A 5	41.180	0.372
A 10	19.126	0.372
A 15	15.888	0.372
A 20	6.746	0.372
B 5	30.420	0.372
B 10	29.680	0.372
B 15	20.000	0.372
B 20	13.080	0.372

Gráficas de residuos para Turbidez (NTU)

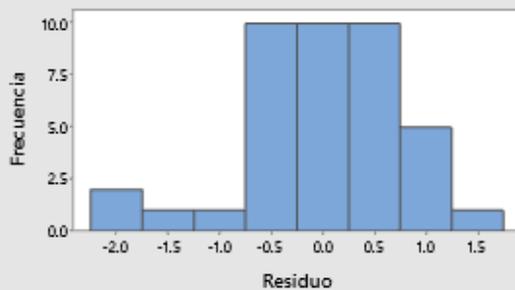
Gráfica de probabilidad normal



vs. ajustes



Histograma



vs. orden

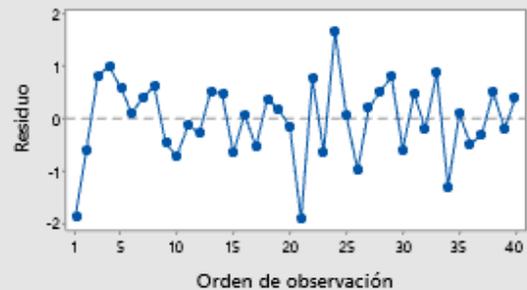


Figura 23

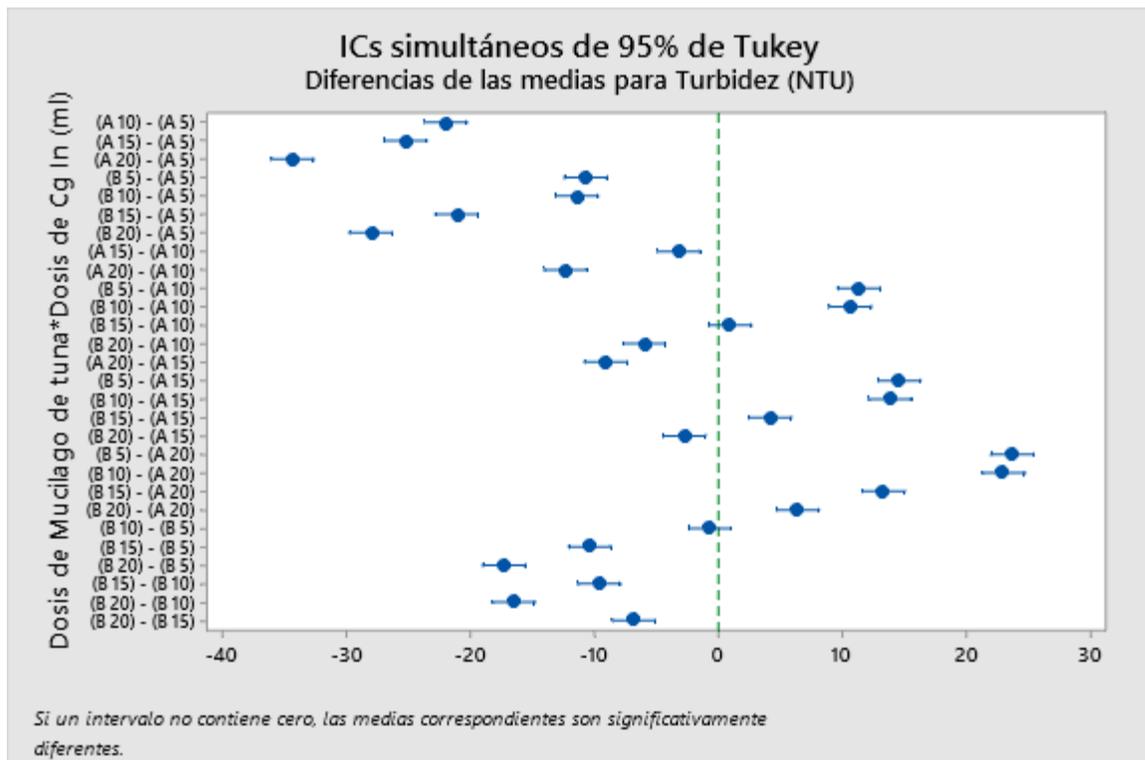
Resumen de la Comparación de Tukey en Minitab 19

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Dosis de Mucilago de tuna*Dosis de Cg In (ml)

	N	Media	Agrupación
A 5	5	41.180	A
B 5	5	30.420	B
B 10	5	29.680	B
B 15	5	20.000	C
A 10	5	19.126	C
A 15	5	15.888	D
B 20	5	13.080	E
A 20	5	6.746	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



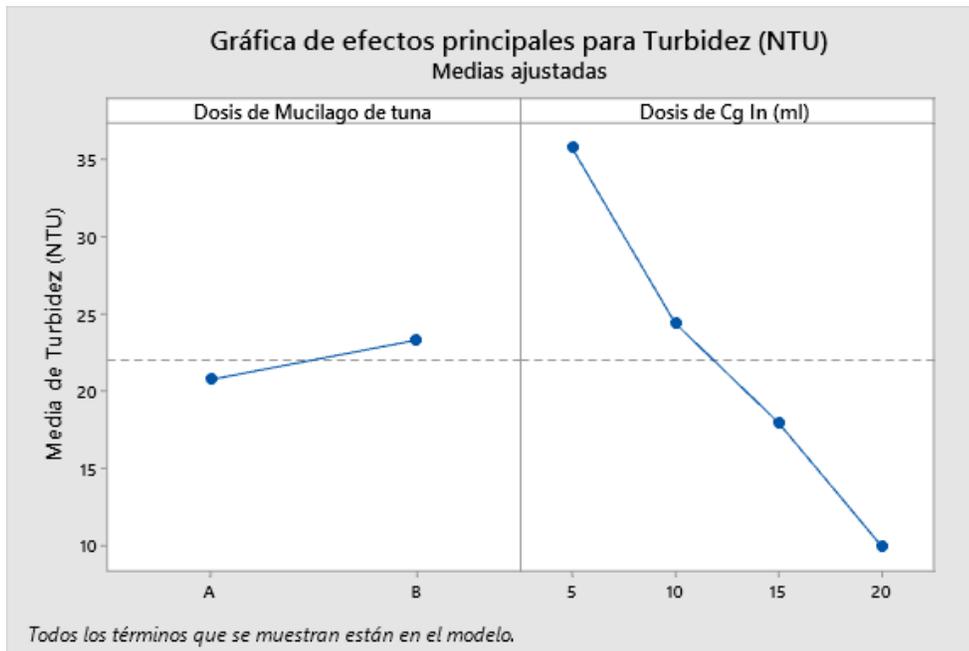


Figura 25

*Gráfica de factoriales de interacción de Dosis de MTBS y MTBS * Dosis de Cg In VS Turbidez*

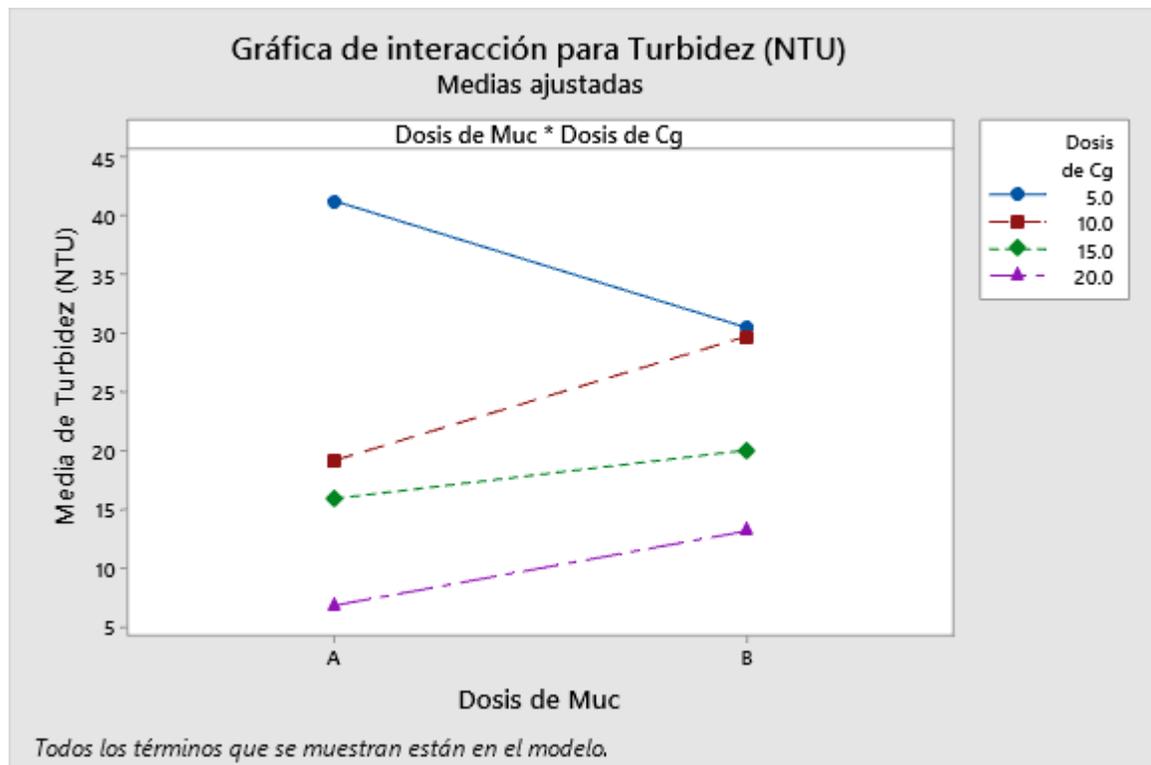


Tabla 30

Ubicación del laboratorio de operaciones Vida Sana

Operación de trabajo	Ubicación	Coordenadas		msnm
		Latitud	Longitud	
	Santiago, calle lima.1133	-13.525964	-71.982835	3427

Fuente: Googlemaps

Figura 26

Ubicación del laboratorio de operaciones – Vida Sana



Fuente: GoogleMaps

Anexo 05: Panel Fotográfico

Figura 27

Operaciones de la obtención del mucilago de tuna en base seca, Lavado, secado y acondicionado de las pencas de tuna.



Pesado de las pencas de tuna y pelado de las pencas de tuna



Seccionado de las pencas de tuna y triturado de las pencas de tuna



Extracción del mucilago, Ipenca triturada: 3agua destilada en 24 horas



Extracción del mucilago a 60 – 65°C



Filtrado del mucilago con la fibra y centrifugado del material filtrado



Concentrado del mucilago en baño María a 75°C por 12 horas.



Precipitado del mucilago con alcohol y sedimentado por 24 horas.



Secado en estufa a 75°C

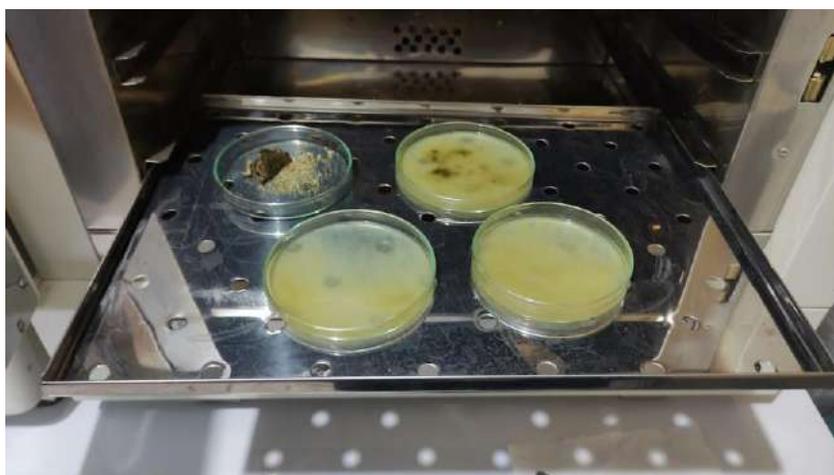


Figura 28

Obtención de agua residual – laguna de estabilización Querapata

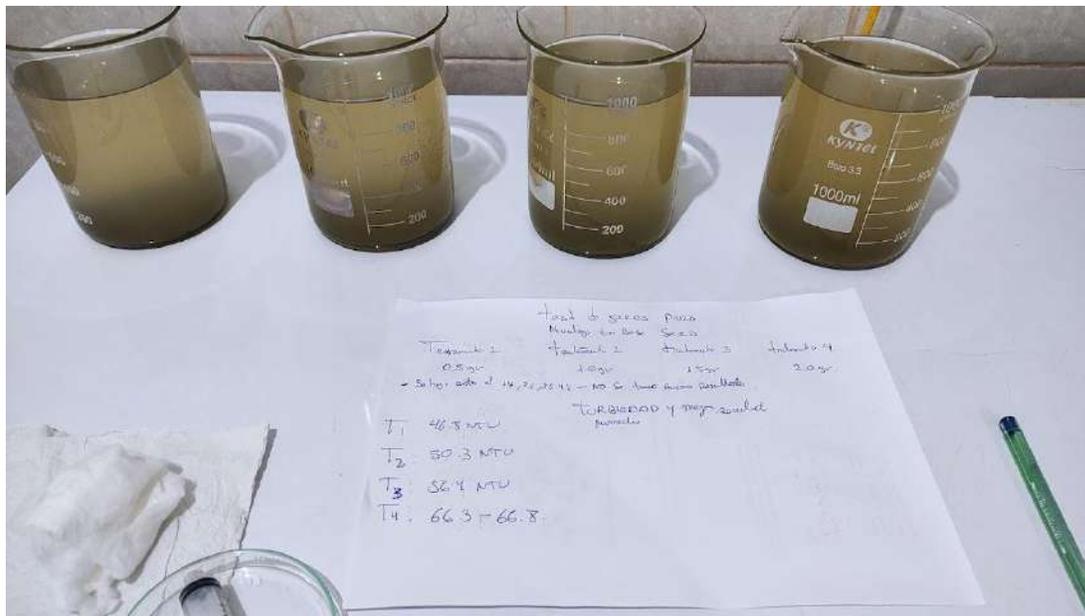


Figura 29

Test de jarras de los tratamientos MTBS, MTBH y MTBS + sulfato de aluminio.

- Dosis de mucilago de tuna en base seca

Pesado del mucilago de tuna en base seca.



- Dosis de mucilago de tuna en base húmeda



- **Dosis de sulfato de aluminio en solitario**

Preparación del sulfato de aluminio



- **Dosis de mucilago de tuna en base seca + sulfato de aluminio**

Test de jarras: mucilago de tuna en base seca + sulfato de aluminio

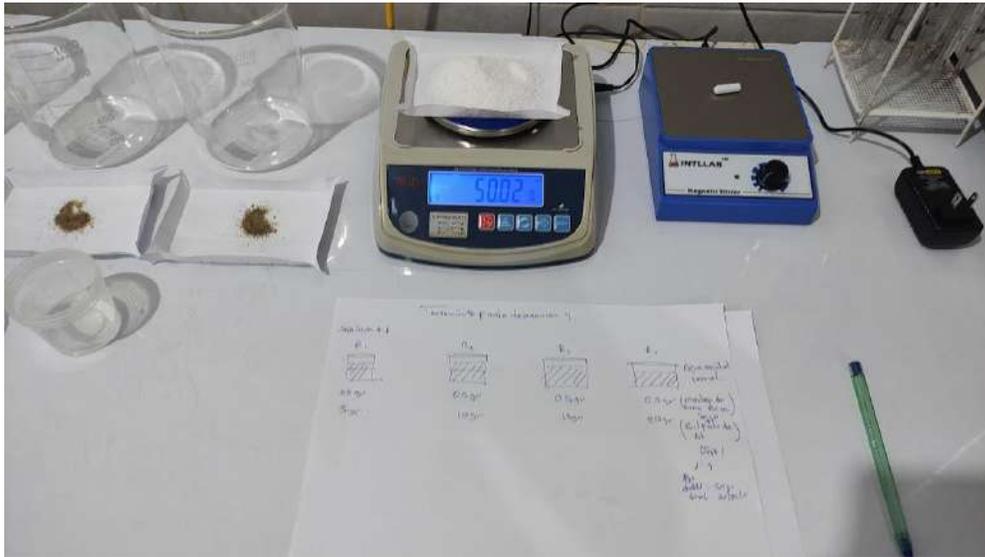
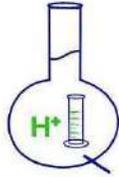


Figura 30

Filtrado de los tratamientos para las pruebas respectivas



Anexo 05: Resultados de la investigación



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° LQ 0018-22 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA : Hiker David Mogrovejo Quispe

TESIS : "EFECTO DEL MUCILAGO DE OPUNTIA FICUS INDICA (TUNA) COMO COAGULANTE NATURAL Y COADYUDANTE AL SULFATO DE ALUMINIO EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION DE QUERAPATA – CHINCHERO"

MUESTRA :
M₁: Agua residual de la laguna de Estabilización de Querapata – Chinchero (Urubamba – Cusco) - Antes de los tratamientos con el mucilago de tuna

DISTRITO : Chinchero, comunidad Querapata

PROVINCIA : Urubamba

DEPARTAMENTO : Cusco

FECHA DE INFORME : 21/01/2022

RESULTADOS :

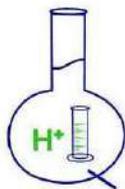
DETERMINACIONES	UNIDAD	M 1	LMP
Aceites y Grasas	mg/L	28	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/L	280	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	560	200
pH		6.1	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	190	150
Temperatura	°C	15	

MÉTODOS DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

NOTA: Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.




MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUÍMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16106



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° LQ 0027-22

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA :

PROYECTO : EFECTO DEL MUCILAGO DE OPUNTIA FICUS INDICA (TUNA) COMO COAGULANTE NATURAL Y COADYUDANTE AL SULFATO DE ALUMINIO EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION DE QUERAPATA – CHINCHERO

MUESTRA :
M₂: Agua residual post aplicación del mucilago de tuna en base seca, mejor dosis de 0.5gr/l del test de jarras
M₃: Agua residual post aplicación del mucilago de tuna en base húmeda, mejor dosis de 10ml/l del test de jarras
M₄: Agua residual post aplicación de la combinación de la mejor dosis de mucilago de tuna en base seca de 0.5gr/l + sulfato de aluminio a dosis de 20ml/l

DISTRITO : Chinchero, comunidad Querapata

PROVINCIA : Urubamba

DEPARTAMENTO : Cusco

FECHA DE INFORME : 21/01/2022

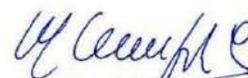
RESULTADOS :

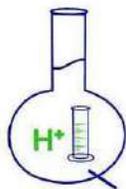
DETERMINACIONES	UNIDAD	M ₂	M ₃	M ₄	LMP
Aceites y Grasas	mg/L	16	18	18	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/L	80	140	190	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	120	300	550	200
pH		6.6	6.4	6.1	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	16	50	88	150
Temperatura	°C	15	15	15	

MÉTODOS DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

NOTA: Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

 **MC QUIMICALAB**
M. Cumpa
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
ADMINISTRACIÓN
CIP. 238338


MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUÍMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16186



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° LQ 0028-22

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA : Hiker David Mogrovejo Quispe

PROYECTO : EFECTO DEL MUCILAGO DE OPUNTIA FICUS INDICA (TUNA) COMO COAGULANTE ORGANICO Y COADYUDANTE AL SULFATO DE ALUMINIO EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION DE QUERAPATA – CHINCHERO

MUESTRA :
M₅: Prueba con mucilago en base SECA de opuntia ficus indica (TUNA) con Sulfato de Aluminio en agua residual de la Laguna de Estabilización de Querapata – Chinchero

DISTRITO : Chinchero, comunidad Querapata

PROVINCIA : Urubamba

DEPARTAMENTO : Cusco

FECHA DE INFORME : 21/01/2022

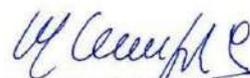
RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M ₅	LMP
Aceites y Grasas	mg/L	16	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/L	180	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	500	200
pH		6.1	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	140	150
Temperatura	°C	15	

MÉTODOS DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

NOTA: Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

 **MC QUIMICALAB**
M. Cumpa
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
ADMINISTRACION
CIP. 238338


MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16186



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Tel.: 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCION N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Proyecto: Solicita: Número de muestra: Comunidad: Sector: Distrito: Provincia: Departamento: Fuente: Fecha de obtención de la muestra: Hora de obtención de la muestra:	ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DEL AGUA RESIDUAL DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE QUERAPATA - ANTES DE LOS TRATAMIENTOS HIKER DAVID MOGROVEJO QUISPE Querapata Querapata Chinchero Urubamba Cusco PUNTO INTERMEDIO DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE QUERAPATA 22/11/2021 12:48 pm	
<u>EXAMEN BACTERIOLÓGICO</u> Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml	<u>RESULTADOS</u> 34 X 10 ⁰⁰ NMP/100 ml.	<u>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</u> Hasta 2000 NMP/100 mL

NOTA: SE CONSIDERAN LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-D.S. N° 004-2017-MINAM.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio MicroLab

29/11/2021

microlab

Elizabet Samaniez Gibaja
 Blgg. Elizabet Samaniez Gibaja
 MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Rocio M. Escalante Guzman
 Blgg. Rocio M. Escalante Guzman
 MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
 Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
 (Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Tel.: 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCION N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Proyecto:	"EFECTO DEL MUCILAGO de <i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna) COMO COAGULANTE NATURAL Y COADYUVANTE AL SULFATO DE ALUMINIO."	
Etapas proyecto	TRATAMIENTO I – APLICACION DOSIS DE MUCILAGO DE TUNA EN BASE SECA 0.5 gr/l	
Solicita:	HIKER DAVID MOGROVEJO QUISPE	
Número de muestra	01	
Comunidad Sector	Querapata	
Distrito	Chinchero	
Provincia	Urubamba	
Departamento	Cusco	
Fuente	AGUA RESIDUAL POST APLICACION TEST DE JARRAS DEL MTBS	
Fecha de obtención de la muestra (aplicación del tratamiento)	Fecha de aplicación del tratamiento I: 07/12/2021	
	Fecha de lectura de turbidez del tratamiento I: 08/12/2021	
Hora de obtención de la muestra	10:38 AM	
<u>EXAMEN BACTERIOLÓGICO</u>	<u>RESULTADOS</u>	<u>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</u>
Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml	9 X 10 ⁴ NMP/100 ml.	Hasta 2 000 NMP/100 mL

NOTA: SE CONSIDERAN LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-D.S. N° 004-2017-MINAM.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio MicroLab

18/12/2021

Bjga. Elizabeth Samánez Gibaja
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Bjga. Rocío M. Escalante Guzmán
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Tel.: 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCION N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Proyecto:	"EFECTO DEL MUCILAGO de <i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna) COMO COAGULANTE NATURAL Y COADYUVANTE AL SULFATO DE ALUMINIO."	
Etapas proyecto:	TRATAMIENTO II – APLICACIÓN DOSIS DEL MUCILAGO DE TUNA EN BASE HUMEDA 10ml/l	
Solicita:	HIKER DAVID MOGROVEJO QUISPE	
Número de muestra:	02	
Comunidad:	-----	
Sector:	Querapata	
Distrito:	Chinchero	
Provincia:	Urubamba	
Departamento:	Cusco	
Fuente:	AGUA RESIDUAL POST APLICACION TEST DE JARRAS DEL MTBH	
Fecha de obtención de la muestra (aplicación del tratamiento):	Fecha de aplicación del tratamiento II: 10/12/2021 Fecha de lectura de turbidez del tratamiento II: 11/12/2021	
Hora de obtención de la muestra:	11:18 AM	
<u>EXAMEN BACTERIOLÓGICO</u>	<u>RESULTADOS</u>	<u>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</u>
Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml	6 X 10 ⁰⁰ NMP/100 ml.	Hasta 2 000 NMP/100 mL

NOTA: SE CONSIDERAN LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-D.S. N° 004-2017-MINAM.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab

18/12/2021

Biga Elizabet Sumáñez Gibaja
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Biga Rocio M. Escalante Guzmán
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Tel.: 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCION N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Proyecto: Etapa proyecto Solicita: Número de muestra Comunidad Sector Distrito Provincia Departamento Fuente Fecha de obtención de la muestra (aplicación del tratamiento) Hora de obtención de la muestra	<p>“EFECTO DEL MUCILAGO de <i>Opuntia ficus indica</i> (Tuna) COMO COAGULANTE NATURAL Y COADYUVANTE AL SULFATO DE ALUMINIO.”</p> <p>APLICACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO EN SOLITARIO DOSIS 20ml/l</p> <p>HIKER DAVID MOGROVEJO QUISPE Cg In sulfato de aluminio ----- Querapata Chinchero Urubamba Cusco</p> <p>LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE QUERAPATA</p> <p>Fecha de aplicación del tratamiento III: 10/12/2021 Fecha de lectura de turbidez del tratamiento III: 11/12/2021 10:58 AM</p>	
<p><u>EXAMEN BACTERIOLÓGICO</u></p> <p>Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml</p>	<p><u>RESULTADOS</u></p> <p>2 NMP/100 ml.</p>	<p><u>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</u></p> <p>Hasta 2 000 NMP/100 mL</p>

NOTA: SE CONSIDERAN LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-D.S. N° 004-2017-MINAM.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio MicroLab

18/12/2021

microlab

 Biga Elizabeth Sánchez Gibaja
 MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

microlab

 Biga Rocio M. Escalante-Guzmán
 MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
 Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
 (Horario Corrido)

“Calidad y Rapidez a su Servicio”



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0260-21-LAQ

SOLICITANTE: HIKER DAVID MOGROVEJO QUISPE
MUESTRA : MUCILAGO (Opuntia ficus indica) TUNA
FRESCO
FECHA : C/24/11/2021

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	98.08
Proteína %	0.12
Grasa %	0.05
Ceniza %	0.04
Fibra %	0.21
Carbohidratos %	1.70

Normas: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39,
 AOAC 942.05, AOAC 962.09

Cusco, 03 de Diciembre 2021



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

[Signature]
 Responsable del Laboratorio
 de Análisis Químico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº261-21-LAQ

SOLICITANTE: HIKER DAVID MOGROVEJO QUISPE
MUESTRA : MUCILAGO (Opuntia ficus indica) TUNA SECO.
FECHA : C/24/11/2021

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	6.40
Proteína %	5.98
Grasa %	2.16
Ceniza %	2.05
Fibra %	3.76
Carbohidratos %	83.41

Normas: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39
 AOAC 942.05, AOAC 962.09.

Cusco, 03 de Diciembre 2021



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis
[Signature]
 Mariquides Herrera Arriola
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO