

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia de la capacidad biocoagulativa del
Opuntia ficus-indica en la disminución de
coliformes de las aguas residuales domésticas del
centro poblado de Huari, 2023**

Rider Leonard Benites Mendoza
Jhordan Roger Gonzales Aviles

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : FELIPE GUTARRA MEZA
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 31 de enero de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "INFLUENCIA DE LA CAPACIDAD BIOCOAGULATIVA DEL "Opuntia ficus - indica" EN LA DISMINUCIÓN DE COLIFORMES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CENTRO POBLADO DE HUARI, 2023", perteneciente a los estudiantes RIDER LEONARD BENITES MENDOZA; JHORDAN ROGER GONZALES AVILES, de la E.A.P. de INGENIERÍA AMBIENTAL; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19% de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

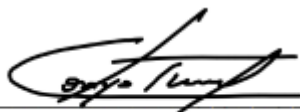
- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: -) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis

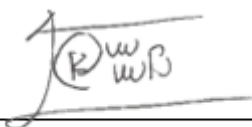
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Rider Leonard Benites Mendoza, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 74294454, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

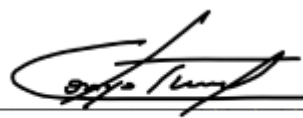
1. La tesis titulada: "INFLUENCIA DE LA CAPACIDAD BIOCOAGULATIVA DEL "*Opuntia ficus - indica*" EN LA DISMINUCIÓN DE COLIFORMES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CENTRO POBLADO DE HUARI, 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

01 de Febrero de 2024.



Rider Leonard Benites Mendoza
DNI. No. 74294454



José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Jhordan Roger Gonzales Aviles, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 76957044, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

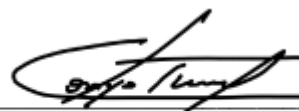
5. La tesis titulada: "INFLUENCIA DE LA CAPACIDAD BIOCOAGULATIVA DEL "*Opuntia ficus - indica*" EN LA DISMINUCIÓN DE COLIFORMES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CENTRO POBLADO DE HUARI, 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

01 de Febrero de 2024.



Jhordan Roger Gonzales Aviles
DNI. No. 76957044



José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	kupdf.net Fuente de Internet	1%
7	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	1library.co Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
15	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.uceva.edu.co	

	Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
23	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
24	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Escuela De Ingenieria De Antiquia - Columbia Trabajo del estudiante	<1 %
27	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
28	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
29	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

31	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Colegio La Paz de Chiapas AC Trabajo del estudiante	<1 %
35	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
36	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
37	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.uaustral.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	www.icta.gob.gt Fuente de Internet	<1 %
42	fr.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

43	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	repositorio.unab.cl Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	www.observatoriosocial.com.ar Fuente de Internet	<1 %
48	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
49	cibgp.com Fuente de Internet	<1 %
50	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	www.expansiondirecto.com Fuente de Internet	<1 %
54	CESEL S A. "Primera MEIA de la Unidad Minera Casapalca-IGA0000614", R.D. N° 188	<1 %

-2019-SENACE-PE/DEAR, 2020

Publicación

55	Tatiana Carla Carvalho Amorim Guisande, Sued Sheila Sarmento, CARINE ROSA NAUE, Mirthes Maria Rodrigues Santana et al. "Bacterial profile of surfaces and equipment of the Orthopedic Clinic of a University Hospital", Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção, 2021 Publicación	<1 %
56	baixardoc.com Fuente de Internet	<1 %
57	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
58	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
59	ninive.uaslp.mx Fuente de Internet	<1 %
60	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
61	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
62	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
63	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

64	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
66	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
67	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
68	revistas.itm.edu.co Fuente de Internet	<1 %
69	stories.undp.org Fuente de Internet	<1 %
70	visorsig.oefa.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
71	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
72	www.alcaldiabogota.gov.co Fuente de Internet	<1 %
73	www.hilti.cl Fuente de Internet	<1 %
74	www.press-report.co.ve Fuente de Internet	<1 %
75	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
76	repositorio.uigv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
77	repositorio.udl.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
78	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

ASESOR

Dr. Ing. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Con gran emoción y por intermedio de la presente, queremos expresar las muestras de especial consideración y estima personal a aquellos actores que fueron parte imprescindible del proceso de desarrollo y culminación de esta investigación, siendo estos:

Dios,

Universidad Continental,

Ing. José Vladimir Cornejo Tueros,

Familiares y amigos.

DEDICATORIA

No cabe duda que, Jehová y la familia son los pilares que motivan a uno, en su desarrollo personal, profesional y familiar, motivo por el cual, me es grato expresar el reconocimiento bien merecido a mis padres Melecio Gonzales Quispe y Marisa Aviles Quispe, quienes gracias a su apoyo, paciencia y amor incomparable, fue posible la culminación de este trabajo. ¡Muchas gracias!

Bach. Jhordan Roger Gonzales Aviles.

A Dios, por darme la bendición y sabiduría de poder lograr día a día todos mis objetivos. A mis padres, Clodomiro Benites Lucas y Roselin Mendoza Vivas, y a mi hermana Yelina Benites Mendoza, por su apoyo moral y permanente que fueron forjadores de mi camino hacia la superación y elaboración de mi proyecto. Gracias.

Bach. Rider Leonard Benites Mendoza.

ÍNDICE

ASESOR	xii
AGRADECIMIENTOS	xiii
DEDICATORIA	xiv
ÍNDICE	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE TABLAS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	xxii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.2.1. Problema general	3
1.1.2.2. Problemas específicos	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Justificación e importancia	4
1.4. Hipótesis y variables	5
1.4.1. Hipótesis general	5
1.4.2. Variables	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes del problema.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales	9

2.1.3.	Antecedentes locales	11
2.2.	Bases teóricas	12
2.2.1.	Aguas residuales domésticas (ARD)	12
2.2.2.	Métodos de tratamiento	14
2.2.3.	Parámetros de evaluación	15
2.2.4.	Coliformes	16
2.2.5.	Métodos para su identificación y numeración	17
2.2.6.	Proceso de coagulación/floculación	17
2.2.7.	Tipos de coagulantes y floculantes	20
2.2.8.	Factores influyentes en la coagulación/floculación	20
2.2.9.	La tuna o nopal	21
2.2.10.	Cladodio o penca	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		25
3.1.	Método y alcance de la investigación	25
3.1.1.	Métodos de la investigación	25
3.1.1.1.	Método general	25
3.1.1.2.	Método específico	25
3.1.2.	Tipo de investigación	26
3.1.3.	Nivel de investigación	26
3.2.	Diseño de la investigación	26
3.3.	Población y muestra	29
3.3.1.	Población	29
3.3.2.	Muestra	29
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos	29
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos	30
3.5.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos	31
3.5.1.	Ubicación geográfica	31

3.5.2.	Obtención del coagulante en polvo	32
3.5.3.	Muestreo de agua residual	35
3.5.4.	Determinación de la dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta, mediante el método de coagulación-floculación con el uso del equipo de prueba de jarras.....	36
3.5.5.	Determinación de parámetros fisicoquímicos en campo	38
3.5.6.	Evaluación de la influencia del “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ” en la disminución de CTE de las ARD	39
3.5.7.	Determinación de eficacia del “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ” en la disminución de CTE de las ARD	40
3.5.8.	Determinación de los valores óptimos de la dosis de coagulante y velocidad de agitación lenta para la disminución de CTE de las ARD	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		42
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información	42
4.1.1.	Determinación de la dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta, mediante el método de coagulación-floculación con el uso del equipo de prueba de jarras.....	42
4.1.2.	Evaluación de la influencia del “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ” en la disminución de CTE de las ARD	44
4.1.3.	Determinación de eficacia del “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ” en la disminución de CTE de las ARD	45
4.1.4.	Determinación de los valores óptimos de la dosis de coagulante y de la velocidad de agitación lenta para la disminución de CTE de las ARD	47
4.2.	Prueba de hipótesis.....	48
4.3.	Discusión de resultados	51
CONCLUSIONES.....		55
RECOMENDACIONES		56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		57
ANEXOS		62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema típico para el tratamiento de aguas residuales.....	15
Figura 2. Mecanismo de coagulación, floculación y decantación.....	18
Figura 3. Modelo gráfico del desarrollo de coagulación.	19
Figura 4. Representación de un diseño 3^2	27
Figura 5. Modelo estadístico de un diseño factorial completo aleatorizado 3^2	27
Figura 6. Resumen del diseño factorial completo aleatorizado 3^2	28
Figura 7. Hoja de trabajo del total de corridas experimentales obtenidas aleatoriamente.	28
Figura 8. Punto de vertimiento de las ARD del Centro Poblado de Huari.	31
Figura 9. Parcela de tuna ubicada próximo al área de estudio.	32
Figura 10. Cosecha y lavado de las pencas de tuna.....	32
Figura 11. Pelado y picado de las pencas de tuna.....	33
Figura 12. Secado de las pencas de tuna.	33
Figura 13. Molienda y tamizado de las pencas de tuna.	34
Figura 14. Coagulante en polvo, obtenido al término del proceso.	35
Figura 15. Punto de muestreo del agua residual.....	35
Figura 16. Pesaje y adición del coagulante sobre las muestras medidas con antelación.	37
Figura 17. Programación de velocidad de agitación rápida y lenta de las muestras.....	37
Figura 18. Diagrama de las pruebas experimentales.	38
Figura 19. Determinación de los parámetros fisicoquímicos.	39
Figura 20. Efectos principales de los factores involucrados en el % de disminución de CTE de las ARD.	44
Figura 21. Efectos de interacción de los factores involucrados en el % de disminución de CTE de las ARD.	45
Figura 22. Optimización de las variables de tratamiento y análisis.	47
Figura 23. Gráfica de contorno del % de disminución de CTE en base a las variables experimentales.	48
Figura 24. Prueba de normalidad de la variable respuesta.	49
Figura 25. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de las variables.	6
Tabla 2. Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos.	13
Tabla 3. Agentes patógenos presentes en aguas residuales domésticas sin tratamiento.	14
Tabla 4. Diversidad de coagulantes - floculantes.	20
Tabla 5. Factores influyentes en el método de coagulación/floculación.	20
Tabla 6. Taxonomía de la tuna o nopal.	21
Tabla 7. Componentes de la penca.	23
Tabla 8. Factores y niveles experimentales de estudio.	28
Tabla 9. Materiales utilizados en las diferentes etapas del estudio.	30
Tabla 10. Equipos utilizados en las diferentes etapas del estudio.	31
Tabla 11. Orden aleatorio del tratamiento de las muestras residuales.	36
Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos medidos <i>in situ</i>	38
Tabla 13. Valores de concentración de CTE después del tratamiento de las ARD.	43
Tabla 14. Valores de concentración de CTE tras las pospruebas.	44
Tabla 15. Porcentaje de disminución de CTE después del tratamiento de las ARD.	46
Tabla 16. Porcentaje de disminución de CTE tras las pospruebas.	46
Tabla 17. Resultados del análisis de varianza.	49

RESUMEN

En este estudio se evaluó la capacidad biocoagulativa del "*Opuntia ficus-indica*" en la disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari, Huancayo, Junín. Dicho estudio se basó en el método científico, para lo cual se adoptó la técnica de coagulación-floculación, misma que tuvo lugar en las instalaciones del laboratorio de análisis ambiental "GRUPO JHACC", mediante el uso del equipo de prueba de jarras de marca JLT de 4 floculadores. Para los experimentos, se trabajaron con 19 L de agua residual doméstica (ARD), las cuales fueron colectadas en el punto de descarga o vertimiento del sistema de alcantarillado del lugar ya mencionado. En ese contexto, la muestra fue obtenida mediante la técnica no probabilística y por conveniencia. Adicionalmente, se colectaron 2 L del mismo efluente para las pospruebas. El coagulante natural fue utilizado en forma de polvo, mismo que fue obtenido a través de una secuencia de procedimientos como fueron: lavado, pelado, picado, secado, molienda y tamizado de la penca de tuna. La parte experimental estuvo comprendida por combinaciones de dosis de coagulante (100, 150 y 200 mg/L) y velocidad de agitación lenta (20, 30 y 40 RPM). En ese sentido, se derivaron 9 tratamientos con dos réplicas, dando un total de 18 corridas experimentales de acuerdo con el diseño factorial completo aleatorizado 3². Cabe señalar que se consideraron ciertos factores controlables bien definidos, siendo estos la velocidad de agitación rápida de 250 RPM y los tiempos de agitación rápida, lenta y sedimentación de 2, 15 y 20 minutos respectivamente. El análisis inicial del parámetro coliformes termotolerantes (en adelante CTE) a una de las muestras seleccionadas aleatoriamente (ARD-0), arrojó una concentración > 110 000 NMP/100ml. Por otra parte, el mayor porcentaje de disminución de CTE (58.18 %), se logró con una dosis de 200 mg/L y una velocidad de agitación lenta de 40 RPM, no obstante, en las pospruebas, al considerar una dosis y velocidad de 600mg/L y 70 RPM, se logró remover un 73.64 % de CTE. Asimismo, a través del modelo de optimización del paquete estadístico Minitab 19, se determinó como valores óptimos una dosis de 200 mg/L con una velocidad de floculación de 40 RPM, mismos que pueden alcanzar una disminución del 46.6872 ± 0.80556 % de CTE. En base a las pruebas estadísticas relacionadas a las prepruebas se concluye que el efecto que ejerce la dosis de coagulante y la velocidad de floculación es poco significativa.

Palabras clave: aguas residuales domésticas, técnica de coagulación-floculación, coliformes, equipo de prueba de jarras, diseño factorial completo aleatorizado 3².

ABSTRACT

This study evaluated the biocoagulant capacity of "*Opuntia ficus-indica*" in the reduction of coliforms in the domestic wastewater of the Huari town center, Huancayo, Junín. This study was based on the scientific method, for which the coagulation-flocculation technique was adopted, which took place in the facilities of the environmental analysis laboratory "GRUPO JHACC", using the JLT jar test equipment with 4 flocculators. For the experiments, 19 L of domestic wastewater (ARD) were used, which were collected at the discharge point of the sewage system of the aforementioned place. In this context, the sample was obtained using the non-probabilistic technique and by convenience. Additionally, 2 L of the same effluent were collected for post-testing. The natural coagulant was used in the form of powder, which was obtained through a sequence of procedures such as washing, peeling, chopping, drying, grinding and sieving of the prickly pear cactus. The experimental part was comprised of combinations of coagulant doses (100, 150 and 200 mg/L) and slow agitation speed (20, 30 and 40 RPM). In this sense, 9 treatments with two replicates were derived, giving a total of 18 experimental runs according to the 3² randomized complete factorial design. It should be noted that certain well-defined controllable factors were considered; these were the fast agitation speed of 250 RPM and the fast, slow and sedimentation times of 2, 15 and 20 minutes, respectively. The initial analysis of the parameter thermotolerant coliforms (hereinafter CTE) to one of the randomly selected samples (ARD-0), showed a concentration > 110 000 NMP/100ml. On the other hand, the highest percentage of CTE decrease (58.18 %), was achieved with a dose of 200 mg/L and a slow agitation speed of 40 RPM. However, in the post-tests, when considering a dose and speed of 600 mg/L and 70 RPM, 73.64 % of CTE was removed. Likewise, through the optimization model of the Minitab 19 statistical package, a dose of 200 mg/L with a flocculation speed of 40 RPM was determined as optimal values; these values can achieve a 46.6872 ± 0.80556 % decrease in CTE. Based on the statistical tests related to the pre-tests, it is concluded that the effect exerted by the coagulant dose and the flocculation speed is not very significant.

Keywords: domestic wastewater, coagulation-flocculation technique, coliforms, jar test kit, 3² randomized complete factorial design.

INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, uno de los grandes problemas que aqueja a la sociedad es la contaminación del agua provocada por los vertimientos de aguas residuales; eso significa que si se pretende dar un rumbo diferente a esta problemática, se tienen que emprender acciones que involucren gestiones sobre las fuentes de generación, los flujos de emisión, la recuperación de compuestos útiles y el reaprovechamiento de las aguas tratadas. Ciertamente, la puesta en marcha de todas estas actividades derivara impactos positivos sobre el ambiente, la economía y la colectividad en su conjunto (1).

Adicionalmente, se debe señalar que en vista al acrecentamiento de diversos problemas ambientales sanitarios que van manifestándose a lo largo y ancho del Perú, urge fortalecer y masificar la búsqueda de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico y municipal, a fin de poder implementarlas en beneficio de los ecosistemas receptores. El aprovechamiento de especies vegetales es uno de los métodos eco amigables que va cobrando mayor interés dentro de las prácticas de tratamiento y/o depuración de aguas contaminadas. Indudablemente, estas especies representan medios alternativos muy prometedores para la remoción de contaminantes y sustitución de compuestos nocivos y tóxicos, en virtud de sus características coagulativas.

Es por ello que, dada a las exigencias contempladas en las normativas ambientales vigentes, se hace necesario encaminar un estudio que permita el favorecimiento de dichas disposiciones, en bien del ambiente y la sociedad. En ese sentido, con el presente estudio titulado “Influencia de la capacidad biocoagulativa del *“Opuntia ficus-indica”* en la disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari, 2023”, se pretende dar validez a las premisas referidas sobre la capacidad de coagulación que posee la planta mencionada, pero sobre todo, ver si ésta tiene implicancia en la disminución de bacterias coliformes que forman parte de las ARD, para de esa forma generar conocimiento que solucione este tipo de problemas.

Con el objetivo de encontrar información relevante concerniente a la capacidad coagulativa del *“Opuntia ficus-indica”*, en este estudio se efectuaron un conjunto de tratamientos en la que se incluyeron diversas dosis de coagulante sometidas a una velocidad de agitación lenta en específica, sobre un grupo de unidades experimentales. Todo ello tuvo el propósito de contrastar la hipótesis de investigación planteada.

Por último, debemos mencionar que el presente documento de investigación se compone de cuatro acápites. El primero, contempla temas relacionados al planteamiento de estudio, en los cuales se pueden apreciar los problemas, objetivos, justificación e importancia e hipótesis. El segundo, fundamenta el marco teórico a través de los antecedentes y las bases teóricas. El tercero, manifiesta la razón de ser de la investigación (metodología); misma que está comprendida por el método, tipo, nivel y diseño de la investigación, así como la metodología de experimentación. El cuarto, exhibe los resultados y la respectiva prueba de hipótesis, sin dejar de lado el tema de discusión. El documento termina mostrando las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

A lo largo de la historia se han ido presentando un conjunto de técnicas y procesos de tratamiento para aguas contaminadas, resultante de diversas actividades domésticas. Sin embargo, aún no se ha encontrado un método efectivo cuyo propósito se enfatice en la eliminación y/o disminución de los componentes microbiológicos de características perjudiciales, que yacen en la materia fecal y se infiltran por medio de los vertimientos en las diferentes masas de agua lítica. Debemos reconocer que la contaminación del agua por fuentes domiciliarias es inevitable, puesto que es un recurso muy utilizado por cada integrante de los hogares a fin de cubrir sus necesidades básicas como son el aseo personal, la cocción de sus alimentos, la limpieza y desinfección de los diferentes ambientes de sus domicilios, entre otros, más aún ante el exorbitante crecimiento poblacional que demanda el uso de este solvente. Cabe precisar que este problema de contaminación fecal también se manifiesta en las diversas playas que conforman nuestro planeta, razón por la cual hoy son consideradas una de las zonas prioritarias para el análisis de estos organismos con el objetivo de prevenir ciertos riesgos sanitarios en los bañistas concurrentes (2).

En Latinoamérica y el Caribe, tan solo el 60 % de los habitantes cuentan con un sistema de alcantarillado y únicamente el 30 o 40 % de las aguas negras de la región reciben tratamiento. Estos datos porcentuales son preocupantes, debido a los altos niveles económicos y de urbanización de la zona y tienen implicaciones notables en el bienestar público, la protección medioambiental y la satisfacción de las necesidades sociales (3). Es así que diversas fuentes superficiales tienden a captar estos residuos líquidos de manera directa a lo largo de su cauce, convirtiéndose en focos infecciosos de organismos perniciosos para la salud colectiva, así como lo manifestado en un estudio realizado por Barrantes *et al.* (4).

El Perú no es ajeno a esta problemática global, pues la escasez de agua y las condiciones de insalubridad que muestran las diferentes cuencas hidrográficas son un claro ejemplo de la grave situación a la que nos enfrentamos. A nivel nacional, se cuenta con un número reducido de PTAR (202 reportados hasta el décimo mes antes del año 2022) para la enorme población que alberga, de las cuales un 85 % se encuentran funcionando, 2 % están en procesos constructivos y el 13 % están paralizadas por deficiencias en el diseño técnico u observaciones de ejecución (5), razón por la cual la población aledaña a estos medios acuáticos contaminados son el punto objetivo con el riesgo de contraer posibles padecimientos contagiosos de naturaleza gastroentérica, como las diarreas, luego de entrar en contacto directo con las excretas disueltas en los cuerpos hídricos (6).

Por su parte, la región Junín también presenta contaminación de esta naturaleza, lo cual viene desencadenando un sinnúmero de condiciones de peligros y riesgos para la salud de la población, y afectando la calidad de las distintas fuentes de agua superficial y subterránea. Es así como el lago Junín se ha vuelto inmerso en esta situación crítica en donde se está presenciando la pérdida de comunidades ecológicas singulares (7).

La localidad del Centro Poblado de Huari, al ser un lugar turístico arqueológico muy atractivo, recibe la visita de un gran número de personas los que, sumados a los lugareños, se convierten en fuentes de contaminación antropogénica ya que estos realizan actividades recreativas dejando a su paso residuos sólidos y líquidos que se incorporan a las

aguas del río Chanchas, pero lo más preocupante son los vertidos domiciliarios de la zona, el mismo que será objeto de estudio.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Qué influencia tendrá la capacidad biocoagulativa del “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari, 2023?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera se obtendrá el coagulante natural del “*Opuntia ficus-indica*”?
- ¿Qué influencia tendrá la dosis de “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de coliformes termotolerantes?
- ¿Qué influencia tendrá la velocidad de agitación lenta en la disminución de coliformes termotolerantes?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia que tendrá la capacidad biocoagulativa del “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari, 2023.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la obtención del coagulante natural de "*Opuntia ficus-indica*".
- Determinar la influencia que tendrá la dosis de "*Opuntia ficus-indica*", en la disminución de coliformes termotolerantes.
- Determinar la influencia que tendrá la velocidad de agitación lenta en la disminución de coliformes termotolerantes.

1.3. Justificación e importancia

El alto costo que implica la implementación de tecnologías o procesos fisicoquímicos aplicados al tratamiento del vertido en cuestión genera una gran preocupación socioambiental a lo largo de la subcuenca del río Chanchas, puesto que estas aguas residuales son una de las tantas fuentes puntuales de aporte y suministro de una masa considerable de organismos coliformes a su cauce, como lo muestran evaluaciones microbiológicas precedentes realizados en esta área geográfica. Por otro lado, se ha avizorado y es notorio el desinterés por parte de las autoridades transitorias del sector, al no prestarle la debida atención al gran problema ecosistémico que se presenta en su jurisdicción.

En la búsqueda de un método no convencional amigable con el medio ambiente y de bajo costo, se propone emplear la penca de tuna como coagulante natural (a través del proceso de coagulación - floculación) para reducir las elevadas concentraciones de comunidades bacteriológicas de origen fecal presentes en las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari. Lo mencionado permitirá generar mejoras en la calidad del efluente, puesto que las concentraciones de CTE, así como el de otros parámetros (turbidez, color, entre otros), sufrirán ciertos cambios positivos, es más, la población que ingrese en contacto con el efluente presentará un riesgo mínimo de afecciones gastroentéricas por dicho recurso.

Adicionalmente, cabe señalar que, al efectuar una revisión de los requerimientos normativos actuales, claramente se puede evidenciar que los CTE son uno de los parámetros de gran interés dentro del monitoreo de los cuerpos receptores, por lo que son mencionadas en cada una de las categorías de los ECA-Agua, precepto aprobado mediante D.S. N° 004-2017-MINAM. Asimismo, este tipo de parámetro hace su aparición en el D.S. N° 003-2010-MINAM, normativa nacional que aprueba

los “Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales”. Lo señalado es uno de los motivos que sirve como sustento reglamentario referencial para la toma de decisiones respecto a las pretensiones que se busca para el desarrollo de este proyecto.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

*H₀ = La influencia que ejerce la dosis de “*Opuntia ficus-indica*” y la velocidad de agitación lenta en la disminución de CTE de las ARD mediante el método de coagulación - floculación, no es significativa.

*H_a = La influencia que ejerce la dosis de “*Opuntia ficus-indica*” y la velocidad de agitación lenta en la disminución de CTE de las ARD mediante el método de coagulación - floculación, es significativa.

1.4.2. Variables

- Variables independientes:
 - Dosificación de la penca de tuna.
 - Velocidad de agitación
- Variable dependiente:
 - Disminución de coliformes.

Tabla 1. *Matriz de operacionalización de las variables.*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de recolección de datos
<p>Variable dependiente: *Disminución de coliformes</p>	<p>La disminución va referida al decrecimiento del número de microorganismo. En tanto, los coliformes son un conjunto de cepas bacterianas que se localizan regularmente en las especies vegetales, el suelo, y las heces de animales y personas (8).</p>	<p>Se realizó el análisis inicial y final de la muestra control y muestras experimentales, respectivamente; con el objeto de hallar el porcentaje de disminución de los microorganismos coliformes.</p>	<p>Concentración de microorganismos coliformes antes y después del tratamiento.</p>	<p>Coliformes termotolerantes NMP/100ml.</p>	
<p>Variables independientes: *Dosificación de la penca de tuna</p>	<p>La dosis es la porción de coagulante que se adiciona a una determinada cuantía de muestra líquida. Mientras que, la penca de tuna suele presentar dimensiones variadas, forma parte de una estructura ramificada y es de un pigmento verdoso opaco, la cual se encuentra protegida por una cutícula del tipo lipídica; misma que impide su deshidratación en estaciones de verano (9).</p>	<p>El coagulante obtenido, será operacionalizada por medio de su aplicación en diferentes concentraciones a las muestras residuales.</p>	<p>Dosis en polvo de la penca de tuna.</p>	<p>Dosis de 100, 150 y 200 mg/L.</p>	<p>Técnica: Observación, experimentación.</p> <p>Instrumentos: Multiparámetro, Balanza analítica, Equipo de prueba de jarras.</p>
<p>*Velocidad de agitación</p>	<p>Variabilidad en el mecanismo de agitación que permite la locomoción de las moléculas del disolvente y el soluto en el interior de la solución, así como el de acortar el tiempo de disolución de este último.</p>	<p>La muestra experimental será acondicionada a diferentes velocidades de movimiento.</p>	<p>Variaciones en la velocidad de agitación lenta.</p>	<p>Velocidades de 20, 30 y 40 RPM.</p>	

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Vargas (10), el propósito de su investigación fue determinar la capacidad coagulativa de *Opuntia ficus-indica* en el tratamiento de las aguas derivadas de la industria láctea “Virgen del Cisne”. Para ello, se efectuó procedimientos de desecación, molienda y tamizado. El estudio constó de 5 fases; entre las cuales podemos mencionar, la caracterización de la materia como penca (antes) y como coagulante (después), los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la muestra residual inicial y tratada y los procesos de tratabilidad de la muestra. Tras la evaluación de la muestra residual inicial, se observaron valores de 3900 Co/Pt (color) y 361 NTU (turbidez). Luego de aplicar el coagulante natural se obtuvieron valores de 1880 Co/Pt (color) y 80 NTU (turbidez). Por los datos obtenidos, se dedujo que el biocoagulante alcanzó una eficiencia de remoción del 51.79 % y 77.84 % para el color y la turbidez, respectivamente.

Según Sánchez y Quintero (11), el objetivo principal de su estudio fue el de evaluar la capacidad de higienización y disminución de turbidez de las aguas del río Teusaca tras la aplicación de la tuna. Después de efectuar los análisis correspondientes a la muestra residual inicial, se encontraron los siguientes valores: 7.86 (pH), 280 UPC (color), 80 UFC (*E. coli*), 9 UFC

(coliformes totales), etc. A través de la prueba de jarras se efectuaron ensayos variados, en los cuales se empleó la tuna (en forma de mucílago y polvo) en concentraciones de 30mg/L, 40mg/L y 50 mg/L, con velocidades de agitación de 50 rpm, 100 rpm y 200 rpm, a un tiempo estable de 20 min. Al culminar, los resultados obtenidos tras los análisis de las muestras residuales finales mostraron que el mucílago de la tuna tiene mayor efectividad de remoción de turbidez (92.73 %) que el polvo de tuna.

Según Miranda *et al.* (12), su estudio estuvo basado en la valuación de la técnica de coagulación - floculación aplicado al tratamiento de los efluentes de naturaleza textil del estado de Morelos. El diseño experimental estuvo representado por un diseño factorial 2⁶ en la cual se efectuó 70 cinéticas en reactores de mezcla completa con capacidad útil de 600 ml. Los factores en evaluación estuvieron compuestos por la dosis del coagulante y polímero, los intervalos de agitación y el tiempo de sedimentación, los mismos que estuvieron ligadas a variables de respuesta como el color en escala platino cobalto y la DQO (mg/L). Como resultados, se presentaron elevados porcentajes de decoloración (96 %) y disminución de DQO (76 %) en un lapso de 150 min. Cabe resaltar que este lapso de tiempo, manifestó ser el tiempo de agitación lenta y un factor influyente en la depuración de vertidos textiles con contenidos de pigmentos azo.

De acuerdo con Morejón (13), en su estudio se empleó el mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en condición fresca para la purificación del agua potable en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi. El proceso de tratamiento se efectuó a escala laboratorio, para lo cual se tomaron muestras de agua cruda proveniente del tanque desarenador de la estación de tratamiento de la comunidad. A partir de las pruebas, se evaluó la eficiencia del mucílago con el método de coagulación-floculación de agua cruda. Los parámetros analizados fueron el pH, la turbidez, dureza, color y Sólidos Disueltos Totales, mismos que fueron comparados con la Norma Técnica Ecuatoriana (Agua Potable Requisitos, NTE INEN 1 108:2011 Cuarta revisión 2011-06) para el agua de consumo. Al culminar, se observó que el uso del mucílago en una relación volumétrica de 1/4, deriva buenos resultados en el proceso coagulativo/floculativo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según Álvarez y Ccahua (14), su estudio tuvo por objeto valorar la eficacia de reducción de turbidez con el uso de coagulantes naturales como la *Echinopsis peruviana* y *Opuntia ficus-indica* en muestras acondicionadas con suelo del río Tucuirí, Santo Tomás. Para ello, se empleó la técnica de prueba de Jarras. Su población estuvo representada por 15 L/s de caudal en temporada de precipitación, mientras que la muestra colectada fue de 16 L a través del método no probabilístico. Al inicio, dicha muestra presentó una turbiedad de 500 UNT. Al término de las pruebas, se evidenció que *Opuntia ficus-indica* redujo un 83.8 % de turbiedad y se llegó a la conclusión que a 7.5 de pH, a 30 min de tiempo de sedimentación y a una dosis de 90 mg/L, este biocoagulante alcanzó su máxima eficacia de remoción (81 UNT).

Según Lozano (15), en su proyecto de investigación se efectuó el aprovechamiento del mucílago del cladodio de tuna por medio de procesos de intervención diferenciada como sustracción, batido y escurrido. Su aplicación sobre las aguas del río Chonta de Cajamarca, tuvo por finalidad evaluar su capacidad aclarante sobre las mismas. Los procesos de evaluación se efectuaron a escala de laboratorio. Las muestras iniciales presentaron una turbidez de 55 NTU, que se redujeron a un 82 % tras someterlas a tratamiento. También se evaluaron el pH, conductividad y la dosis del coagulante natural. Se llegó a la conclusión de que el biocoagulante obtenido (mucílago fresco) a través del proceso de sustracción y batido presenta poca eficacia en la reducción del parámetro evaluado (10 NTU) después de ser aplicado.

Según Quispe (16), su estudio consistió en evaluar la eficiencia clarificadora de la penca de tuna sobre las aguas del río Uchusuma - captación de Cerro Verde. El coagulante natural fue aplicado de dos formas; la primera como mucílago fresco y la segunda como polvo seco (soluble en agua y de aspecto gomoso) obtenidas mediante un proceso de macerado y procedimientos de triturado, escaldado y filtración respectivamente. Las pruebas experimentales se efectuaron a magnitudes de laboratorio, en el cual se empleó aguas turbias acondicionadas

artificialmente con cuantías de turbidez iniciales de 3.26 a 1 000 NTU. Las variables evaluadas fueron la turbidez, el pH de la muestra de agua y la dosis del coagulante (mucílago fresco y seco). Los resultados señalaron al mucílago fresco como un coagulante natural de mayor efectividad de remoción que el mucílago seco, puesto que remueven turbiedades elevadas (entre 95.39 a 92.36 %) y medias (entre 25 a 19 %).

Según Alegre y Mendoza (17), su estudio tuvo como propósito evaluar el grado de efectividad de los coagulantes y floculantes naturales en la mejora de la condición de las aguas residuales derivadas de las operaciones de refinación del aceite de soya. El estudio tuvo un encauzamiento cuantitativo, tipo aplicada, diseño experimental y nivel explicativo. Los coagulantes y floculantes utilizados fueron la cáscara de papa y penca de tuna en dosificaciones de 100, 200, 300, 400 y 500 mg/L con valores de pH de la solución de 7, 7.5, 8, 8.5 y 9. El desenlace de la investigación mostró un porcentaje de retiro de aceites y grasas (99.94 %) y SST (95.95 %) por parte de la harina de papa (a una dosis de 500 mg/L y a pH 7.5), mientras que la harina de penca removi6 el 99.84 % de aceites y grasas, y el 99.17 % de SST a una dosis de 400 mg/L y un pH 8. En conclusión, ambos medios coagulativos y floculativos mostraron indicios positivos en la mejora de la condición de las aguas contaminadas derivadas de las operaciones de refinación del aceite de soya, logrando reducciones superiores al 69.53 % para aceites y grasas, SST, DBO, DQO y SDT, no desbordando los valores máximos admisibles (VMA) fijados por el MTCS a través del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.

Según Gil (18), su estudio tuvo el objetivo de evaluar el alcance del mucílago de tuna en la reducción de arsénico de las aguas del río Huandoval del C.P. Sacaycacha por medio de un biofiltro que realiza movimientos similares a la de un sistema de prueba de jarras, al cual le acopló un motor con capacidades de 50 y 100 rpm. El comportamiento del biofiltro siguió la siguiente secuencia: primero se llenó de agua a través de una captación, para luego dar inicio con su funcionamiento a 100 rpm, continuó a 50 rpm y por último se mantuvo en reposo (15 min) para después vaciar el agua al tanque cisterna que iba a proveer de la misma al C.P. Sacaycacha. Al activar el mucílago de tuna con baño María a 80°C,

100°C y cocina, se pudo observar que parte de sus capacidades coagulativas y floculativas, permitió la sedimentación del As a través de la adsorción, formando así flóculos que ocuparon la base del biofiltro en forma de barro los mismos que fueron retirados por medio de un caño tras realizar la limpieza a manera de mantenimiento. Las muestras del agua que se iba a proveer al C.P Sacaycacha y el agua tratada por el biofiltro fueron analizadas con un equipo de espectrofotometría, los cuales arrojaron resultados favorables de remoción (entre un 50 a un 75 %).

2.1.3. Antecedentes locales

Según Inga (19), su investigación tuvo el objetivo de determinar el alcance de la penca de tuna en la remoción de coliformes totales y disminución de turbidez de las aguas del río Cunas. Para ello, se colectó una muestra a modo no probabilístico. Al realizar los análisis iniciales se obtuvieron valores de 70 000 NMP/ml (para coliformes totales) y 16.4 NTU (para turbidez). De los 3.080 kg de penca que se emplearon, tras pasar por un proceso de liofilizado con el fin de eliminar el contenido de agua y conservar las características del ácido poligalacturónico, se obtuvieron 0.127 kg del mismo. La técnica de coagulación y floculación estuvo determinada por el método de jarras. El proceso de tratamiento estuvo constituido por tres ensayos: en el primero se emplearon cantidades de 600 mg/L, 700 mg/L y 800 mg/L de biocoagulante, lográndose remover 130 000 NMP/ml, 1 600 000 NMP/ml, 16 000 000 NMP/ml de coliformes totales y 12,2 NTU, 12,9 NTU y 10,7 NTU de turbidez, respectivamente; en el segundo, cantidades de 60 mg/L, 70 mg/L y 80 mg/L, lográndose remover 1 700 000 NMP/ml, 4 600 000 NMP/ml y 2 200 000 NMP/ml de coliformes totales y 1,6 NTU, 1,69 NTU y 3,18 NTU de turbidez, correlativamente, y por último, cantidades de 2,5 mg/L, 5,0 mg/L y 7,5 mg/L, lográndose remover 20 100 NMP/ml, 7 460 NMP/ml y 7 960 NMP/ml de coliformes totales y 3,26 NTU, 4,14 NTU y 5,29 NTU de turbidez, correspondientemente. Se concluye haciendo mención que, en el primer y segundo ensayo, los coliformes totales se multiplicaron a causa de los carbohidratos presentes en el cladodio, punto donde tiene lugar su

desarrollo. En el tercer ensayo, con una dosis de 5 mg/L, se observó la reducción de coliformes totales en un 89 %, asimismo, con una dosis de 60 mg/L se observó la reducción de turbidez en un 89.69 %.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales domésticas (ARD)

También conocidas como aguas negras, mismas que son consideradas como una de las primordiales fuentes de contaminación de los cuerpos hídricos. El vertimiento de estos efluentes a un medio acuático puede originar variaciones notables en los parámetros de calidad del agua, la defunción de organismos que habitan en él y la aparición de enfermedades en personas que hagan uso de dicho recurso (20). Asimismo, estas son una combinación del agua con agentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en estado de suspensión o disueltas sobre las mismas. Al ser encontradas en proporciones muy limitadas se expresan en unidades de mg/L. Esta proporción de masa y volumen, se usa para señalar el contenido de contaminantes en líquidos residuales, vertidos industriales, y otras soluciones de esta naturaleza. Debido a que estas soluciones presentan una densidad relativa (DR) semejante a la del agua, también se pueden utilizar unidades de masa y masa, como mg/kg o ppm (partes por millón). Por lo general, estas son colectadas y trasladadas a través de sistemas de alcantarillado hacia un punto final de tratamiento para su posterior utilización (21).

Tabla 2. Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos.

ANÁLISIS PRINCIPAL	CONTAMINANTE CONSIDERADO	EFEECTO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).	Materia orgánica biodegradable.	Abatimiento del oxígeno disuelto en cuerpo receptor. Crecimiento de microorganismos.
Demanda química de oxígeno (DQO) o Carbón orgánico total (COT).	Materia orgánica total.	Mismos que DBO. Acumulación en cuerpo receptor. Riesgos de toxicidad.
Sólidos suspendidos totales (SST) Volátiles (SSV) y fijos (SSF).	Materia en suspensión sedimentable y no sedimentable (coloidal).	Sedimentación y azolvamientos en cuerpos receptores. Digestión y liberación de materia orgánica e inorgánica.
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK), nitratos y nitritos (NO ₃ , NO ₂), fósforo total (Pt), ortofosfatos (PO ₃ ⁴⁻).	Nitrógeno y fósforo.	Nutrientes que provocan eutrofización en cuerpos de agua. Contaminación de acuíferos.
Grasas y aceites.	Grasas y aceites.	Acumulación en drenajes y cuerpos de agua. Reducen la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua. Flotación de lodos. Contaminación visual.
Sólidos Disueltos Totales (SDT).	Sales inorgánicas.	Restringen el uso de agua tratada.
Coliformes fecales y huevos de helmintos.	Patógenos y parásitos.	Transmisión de enfermedades gastrointestinales.

Fuente: Noyola *et al.* (22).

Por otro lado, la falta de implementación de tecnologías en el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico, conlleva a la presencia de un gran número de microorganismos perjudiciales para la salud de aquellos que ingresen en contacto con estos medios de transmisión. A continuación, la tabla 3 muestra un listado de algunos agentes patógenos causantes de enfermedades.

Tabla 3. Agentes patógenos presentes en aguas residuales domésticas sin tratamiento.

	Microorganismo	Enfermedad	
Bacteria	<i>Escherichia coli</i> (enterotoxigeno)	Gastroenteritis	
	<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirosis	
	<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	
	<i>Salmonella</i> (2100 serotipos)	Salmonelosis	
	<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigellosis (disentería bacilar)	
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	
Protozoos	<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis	
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amoébrica)	
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	
	Helmintos		
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	
	<i>T. solium</i>	Teniasis	
	<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis	
	Virus	Enterovirus (72 tipos; por ejemplo: virus es echo y coxsackie del pollo)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis.
		Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk		Gastroenteritis	
Rotavirus		Gastroenteritis	

Fuente: Jaco (23).

2.2.2. Métodos de tratamiento

Independientemente del uso que se le quiera dar a las aguas residuales tratadas, existe una amplia variedad de procesos de tratamiento entre las cuales destacan los métodos físicos, químicos y biológicos (24). Habitualmente, estas suelen presentarse de manera conjunta en las diferentes etapas que conforma una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales), siendo estos los niveles de tratamiento primario, secundario y terciario (25).

- a) Tratamiento físico: tiene la propiedad de aglomerar contaminantes tras la evaporación del agua, así como el de filtrar sólidos de un tamaño cuantioso. Dentro de estos se tiene a la filtración, adsorción, aireación, floculación y sedimentación (24).

- b) Tratamiento químico: se caracteriza por dar origen a nuevos compuestos. La coagulación, desinfección, ablandamiento y oxidación, son algunos ejemplos de este tipo (24).
- c) Tratamiento biológico: utiliza organismos vivos para generar variaciones químicas. La digestión aerobia y anaerobia son característicos de este tipo (24).

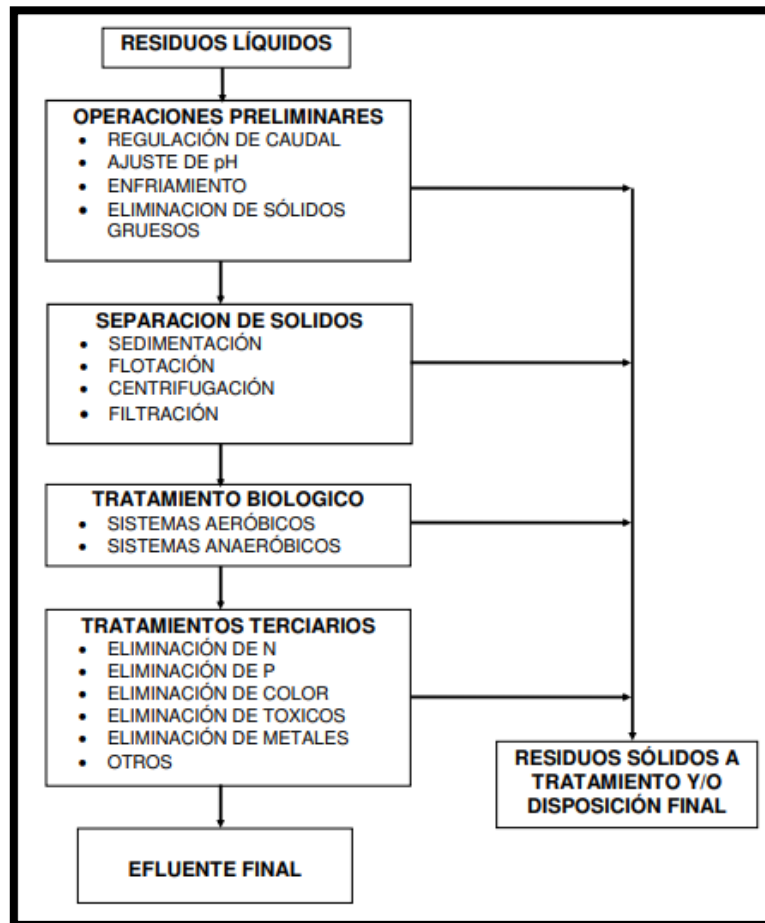


Figura 1. Sistema típico para el tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Zaror (26).

2.2.3. Parámetros de evaluación

- a) Parámetros físicos: son aquellos que pueden ser percibidos por los sentidos; dentro de los cuales podemos mencionar al color, sabor, olor, temperatura, sólidos suspendidos y turbiedad (24).

- b) Parámetros químicos: son aquellos que guardan una estrecha relación con la capacidad del agua para su disolución; entre ellos tenemos a los sólidos suspendidos totales, pH, dureza, fluoruros, materia orgánica, metales y nutrientes (24).
- c) Parámetros biológicos: utilizan a los seres vivos como medios para identificar la presencia o ausencia de algún contaminante dentro de un medio acuático. Dentro de este grupo se tiene a las bacterias, virus, protozoarios (24).

2.2.4. Coliformes

Los coliformes son un conjunto de cepas bacterianas que se localizan regularmente en las especies vegetales, el suelo, los animales y las personas. Su existencia representa una señal de que el medio acuático donde habitan puede estar alterado por la adición de efluentes residuales u otro tipo de desperdicios en estado de putrefacción (8).

- a) Coliformes termotolerantes (CTE): son organismos que viven y se desarrollan en condiciones extremas de temperatura, soportando así, hasta 45°C. Está constituida por un grupo minoritario de bacterias, que cumplen el rol de bioindicadores de calidad del agua. Suelen encontrarse en el ambiente natural, así como en el aparato digestivo humano y animal homeotermo como parte del microbiota intestinal. Entre los más resaltantes podemos mencionar a la *E. coli*, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* (27). Son de naturaleza gram negativa y se caracterizan por su competencia en fermentar la lactosa; los mismos que dan lugar a la formación de ácido y gas a $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$, en un periodo de 48 ± 2 horas (28).
- b) *Escherichia coli*: bacilo gram negativo perteneciente a la familia Enterobacteriaceae. Se localiza en el tracto gastrointestinal, catalogándose como una de las más exuberantes bacterias anaerobias facultativas. Dada sus peculiaridades, es la más empleada como medio indicativo de contaminación fecal (27). Posee la aptitud para fermentar la glucosa y lactosa, y por lo general, descarboxila la lisina (28).

2.2.5. Métodos para su identificación y numeración

- a) Técnica de fermentación en tubos múltiples (FTM): los resultados derivados de los ensayos realizados en estos recipientes y las diluciones sucesivas, son expresadas en función al número más probable (NMP) de microorganismos identificados en 100 ml de agua. Esta cifra, basado en algunas expresiones matemáticas de probabilidad, es un cómputo de la densidad media de coliformes en la muestra (28). Este procedimiento es de mucha utilidad en el análisis de muestras con altos porcentajes de turbidez o muestras con contenidos de colorantes. Sin embargo, este método requiere de mayor tiempo para la obtención de resultados, es más, la gesta de data cualitativa y cuantitativa, por lo general, suelen ser imprecisas (27).
- b) Técnica de fermentación por membrana (FM): este método se basa en la filtración de la muestra de agua por medio de una membrana estéril con orificios de diámetros igual a $0.45\ \mu\text{m}$, el cual recluye los coliformes. La membrana estéril es ubicada sobre la superficie de un recipiente selectivo, para luego numerar las colonias típicas desarrolladas sobre la misma. Mediante esta técnica se pueden analizar considerables volúmenes de muestras con mayor facilidad y credibilidad. No obstante, los datos resultantes no son del todo concretos, motivo por el cual se necesitan de procedimientos complementarios para la validación de los resultados (27).

2.2.6. Proceso de coagulación/floculación

Técnica fisicoquímica combinada que permite una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes. Por su parte, la coagulación debe entenderse como un proceso particular, en el que la alcalinidad del agua reacciona de manera química al agente coagulante empleado; dando paso a la formación de una masa gelatinosa que retiene los componentes coloidales, para luego dar lugar a los flóculos. Su formación permite la remoción de los coloides, materia orgánica, color, turbiedad y microorganismos (11).

Cabe resaltar que, el éxito de este proceso depende mucho del esparcimiento del coagulante. Es más, la etapa coagulativa por adsorción-neutralización necesita de tiempos menores a 1 segundo, mientras que la de barrido, necesita entre 1 y 7 segundo (29). Por otro lado, la floculación se caracteriza por la constitución de floccs, luego de que los elementos coagulados retengan a los coloides y anulen las cargas eléctricas de los mismos. Los floccs al adquirir un tamaño y densidad superior al de los coloides se sedimentan con facilidad, lo que favorece su remoción (30).

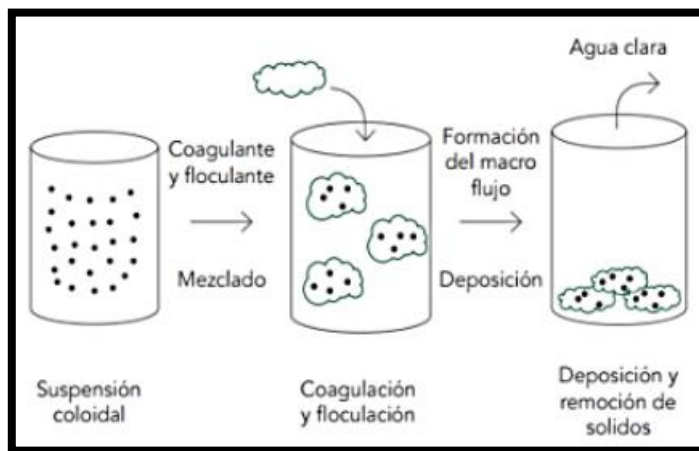


Figura 2. Mecanismo de coagulación, floculación y decantación.

Fuente: Santisteban (31).

- a) Fases de coagulación: de acuerdo con Pérez (32), el proceso de coagulación contempla cinco fases; los cuales se muestran de forma inmediata una tras otra, por medio de respuestas fisicoquímicas. Entre ellas podemos mencionar: 1) hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión, 2) precipitación y formación de compuestos químicos que se polimerizan, 3) adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides, 4) adsorción mutua entre coloides, y 5) acción de barrido.

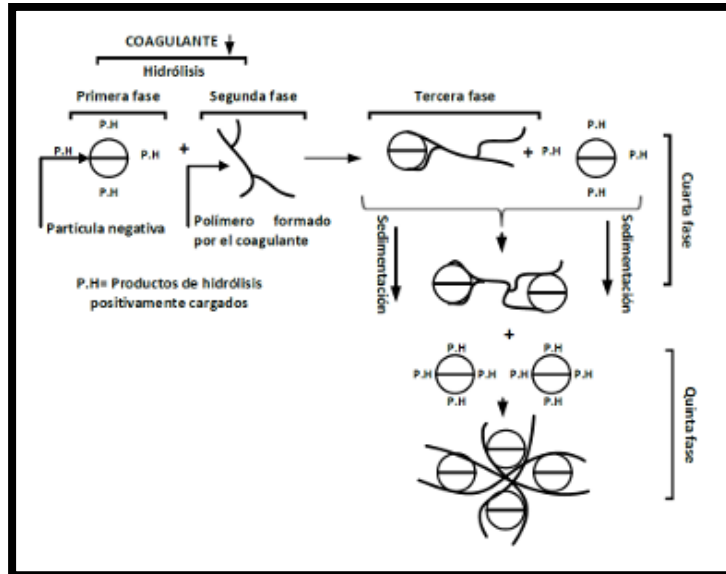


Figura 3. Modelo gráfico del desarrollo de coagulación.

Fuente: Pérez (32).

- b) Fases de coagulación: después de iniciado el proceso de coagulación, inmediatamente se pone en marcha el mecanismo de floculación, en el cual actúan tres formas de transporte de manera sucesiva.
- Floculación pericinética: es un proceso originado al interior del líquido, producto de la energía térmica producida por el desplazamiento de las moléculas. Como consecuencia de ello, el movimiento browniano típico de los coloides permite su aglomeración en un periodo corto, tras estar desestabilizados (33).
 - Floculación ortocinética. este proceso se caracteriza por el contacto abrupto entre los coloides después de ser incitados por un movimiento mecánico o hidráulico. Eso permite su aglomeración en partículas de mayor peso y volumen conocidos como flóculos (33).
 - Sedimentación diferencial. es la última fase del proceso floculativo, en la cual los macroflóculos se unen con los microflóculos luego de entrar en contacto con ellos, mientras van decantándose (31).

2.2.7. Tipos de coagulantes y floculantes

Según Murillo *et al.* (34), existen una gran variedad de compuestos coagulativos-floculativos, entre ellos podemos mencionar a los coagulantes-floculantes inorgánicos, naturales y derivados de los polímeros orgánicos sintéticos.

Tabla 4. *Diversidad de coagulantes - floculantes.*

Inorgánicos	Naturales	Polímeros orgánicos sintéticos
<ul style="list-style-type: none"> • Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). • Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$). • Sulfato ferroso ($FeSO_4$). • Cloruro férrico ($FeCl_3$). • Aluminato de sodio ($NaAlO_2$). 	<ul style="list-style-type: none"> - Quitosán (origen animal). - Cactus o tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>). - Piñón mexicano o jatropa (<i>Jatropha curcas</i>). - Campanita (<i>Ipomoea incarnata</i>). - Moringa (<i>Moringa oleífera</i>). - Rosa de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Polímeros aniónicos ➤ Polímeros catiónicos ➤ Polímeros neutros

Fuente: Murillo *et al.* (34).

2.2.8. Factores influyentes en la coagulación/floculación

A continuación, la tabla 5 muestra algunos de los factores determinantes en la eficiencia del proceso de coagulación/floculación considerada por ciertos investigadores.

Tabla 5. *Factores influyentes en el método de coagulación/floculación.*

Factores coagulativos	Factores floculativos
<ul style="list-style-type: none"> • pH del agua a tratar. • Influencia de las sales disueltas. • Tipo de coagulante. • Dosis de coagulante. • Influencia de la mezcla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración y naturaleza de las partículas. • Tiempo de retención. • Agitación lenta.

Fuente: Quispe (16), y Cahuata y Borda (35).

2.2.9. La tuna o nopal

El nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) es una especie vegetal de suma significancia en los ecosistemas agro pastoriles de los andes peruanos. Este arbusto está presente en gran parte del territorio nacional, principalmente en los valles interandinos en donde se presenta óptimas condiciones para su desarrollo y crecimiento (9). Según investigaciones, en el Perú se cuenta con 5 variedades de tuna pertenecientes a esta especie, las cuales presentan diferencias en su pigmentación (blanca, amarilla, morada, colorada y forrajera) (36). En función a la fertilidad del terreno, estos pueden alcanzar alturas de 2 a 3 metros, inclusive pueden llegar hasta 5 metros (37). De acuerdo con Rojas (38), esta especie entraña ciertos polielectrolitos o iones que las concibe como insumos de gran utilidad en la depuración de aguas o reducción de elementos en suspensión, disueltos o coloidales.

- a) Taxonomía: en referencia a Jaco (23), actualmente se ha avizorado la presencia de unos 300 ejemplares del género *Opuntia*, no obstante, tan solo el 4 % de todos ellos, han sido aprovechadas por el ser humano con fines productivos, alimentarios e industriales.

Tabla 6. *Taxonomía de la tuna o nopal.*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Género	Opuntia
Especie	ficus-indica
Nombre binomial	O. ficus-indica (L.) 1768 Mill.

Fuente: Amaya (9).

- b) Características morfológicas: de acuerdo con Espino *et al.* (37), el *Opuntia ficus-indica* se compone de las siguientes partes:

- Raíz: inician su desarrollo a partir de la radícula, no obstante, también pueden desarrollarse partiendo del tallo. Son de característica típica o pivotante con una textura y tamaño variable. En escasa humedad, no suelen presentar pelos absorbentes, si se da lo contrario, muestran capacidades de aprovechamiento del agua y nutrientes en un alto % puesto que su vigorosidad le permite adentrarse por pequeñas grietas del suelo.
 - Tallo: posee abundante ramificación con una estructura carnososa y escamosa que se forman en la base de varios puntos esparcidos por la paleta y donde se ubican las espinas. Con el paso de los años estos adquieren una consistencia leñosa y dan lugar a un tronco casi cilíndrico y grisáceo.
 - Hojas: tienen un tamaño menor a 10 mm, son de apariencia cónica, ápice agudo y se localizan en cada uno de los círculos de los botones vegetativos y florales.
 - Flores: se ubican en el extremo apical de la penca. El perianto está formado por hojas florales sepaloideas en el límite externo y por el centro son de color amarillo y al término de la fecundación de los óvulos, estos adquieren un tono anaranjado.
 - Fruto: está comprendida por la cáscara (parte no comible), la pulpa (formada por una envoltura funicular y el funículo) y las semillas (un promedio de 100 a 400 por fruto).
- c) Importancia y aplicación: *Opuntia ficus-indica* se ha convertido en una importante especie vegetal en lugares donde se presentan condiciones deficientes de fertilidad, humedad y precipitación pluvial. Puesto que su capacidad de adaptabilidad y desarrollo en zonas áridas y de poca calidad, ha permitido que los pobladores la aprovechen con el fin de generar ingresos económicos adicionales a las que ya cuentan (9). Sus frutos, al tener propiedades nutritivas son consumidas directamente o también sirven como materia para la elaboración de mermeladas, bebidas, néctares, jaleas, mieles, deshidratados y aceites de semillas. Además, suelen ser utilizados como cercos perimétricos vivos y medios de conservación del suelo, puesto que evitan la erosión (39). Los tallos son empleados como

alimento forrajero para el ganado, es más, suelen ser utilizados para la elaboración de enmiendas orgánicas tras cumplir su ciclo de vida. Por lo general, estas son aprovechadas como plantas hospedadoras de la cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa), un insecto en cuyo interior se produce el carmín, colorante natural empleado por las empresas textiles, alimentarias y farmacéuticas (9). El cladodio al igual que los frutos se componen de fibra, hidrocoloides (mucílagos) y tintes (betalaínas y carotenoides), así como proveen Ca, K y vitamina C (40).

2.2.10. Cladodio o penca

Por lo general, presentan el siguiente dimensionamiento: largo (30 a 60 cm), ancho (20 a 40 cm) y un espesor de 2 a 3 cm. Estas forman parte de la estructura ramificada y son de un pigmento verdoso opaco, las cuales se encuentran protegidas por una cutícula del tipo lipídica, las mismas que impiden su deshidratación en estaciones de verano. Contienen alrededor de un 95 % de agua en peso (9). Asimismo, su extracto en forma de savia o gel es aplicado como: floculante, adherente (dentro de las actividades agropecuarias), extracción de gomas y como compuesto para el acabado de edificaciones.

Tabla 7. Componentes de la penca.

Componente	Cantidad	Unidad
Energía	27-37	kcal
Proteínas	1.1-1.7	mg
Carbohidrato	5.6-8.8	g
Cenizas	0.9	g
Calcio	93-110	mg
Fósforo	20	mg
Hierro	0.5	mg
Vitamina A	41-50	µg
Vitamina C	19	mg
Miacina	0.2	mg
Tiamina	0.04	mg
Riboflavina	0.04	mg

Fuente: Quispe (16).

De acuerdo con Quispe (16), el mucílago es un polisacárido fibroso constituido por un grupo numeroso de azúcares, los cuales pueden encontrarse en un promedio de 30 000 subunidades por molécula de mucílago. Por otro lado, se ha evidenciado la existencia de fructosa, sacáridos y maltosa en el mucílago. Asimismo, en conformidad con Contreras *et al.* (41), incontables estudios ponen en conocimiento la presencia de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

3.1.1.1. Método general

La presente investigación tiene como referente al método científico, ya que esta adopta el siguiente comportamiento: 1) planteo del problema, 2) enunciado de la hipótesis, 3) recolecta de datos, y 4) análisis e interpretación de los mismos (42).

3.1.1.2. Método específico

En virtud de los procedimientos de los cuales se compone este proyecto, el método hipotético-deductivo es la que la representa, ya que ésta se encuentra basada a un juicio de enunciación deductiva debido a que las hipótesis presentadas son expresadas producto a la antecendencia de estudios similares (43).

3.1.2. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo aplicativo basado en un enfoque cuantitativo, ya que en ella se plantean preguntas e hipótesis previo al desarrollo investigativo, es más, éstas pueden sufrir ciertas modificaciones durante el desarrollo del estudio o después de las indagaciones, colecta y análisis de datos, para de esa manera dar a conocer el planteamiento contundente de las interrogantes a las cuales se pretende dar una respuesta clara y concisa (43).

3.1.3. Nivel de investigación

De acuerdo con los fines y objetivos perseguidos en la presente investigación, el nivel que más se le adecua es el correlacional y explicativo. El primero permite conocer el grado de asociación existente entre las variables seleccionadas después de ser sometidas a prueba en diferentes comportamientos sobre la muestra residual, mismas que deben ser medidas y cuantificadas previamente. El segundo permite explicar el porqué de los cambios presentados en la variable respuesta tras relacionarlas con las variables independientes (43).

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, puesto que se efectúa la manipulación deliberada de las variables independientes, a fin de evaluar los posibles efectos y variaciones que estos ocasionarán respecto a la variable de análisis (43).

Por otro lado, Ballen y Moreno (44), señalan que un diseño de tipo factorial basa su aplicación en todas las posibles combinaciones que pueda resultar entre los diferentes niveles de cada factor considerado, mismas que pueden presentar características cualitativas o cuantitativas. Es más, estos diseños se aplican de manera simultánea cuando las variables independientes tienen el mismo nivel significativo, además, de que pueden interrelacionarse entre sí (45). En base a lo

descrito, el diseño experimental característico para este proyecto comprende al diseño factorial completo aleatorizado 3^2 .

Asimismo, los tratamientos experimentales resultantes de este tipo de diseño pueden ser representados de manera geométrica, así como lo muestra la figura 4.

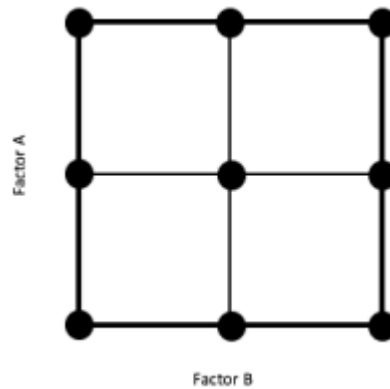


Figura 4. Representación de un diseño 3^2 .

Fuente: Fernández (46).

Dado lo anterior, el modelo de análisis estadístico que representa matemáticamente al diseño factorial completo 3^2 considera el efecto individual de cada factor, así como el efecto derivado de la interacción entre ambos factores y ésta viene denotada de la siguiente manera.

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ_i = media general	
τ_i = efecto del i -ésimo nivel del factor A	$i = 1, 2, \dots, a$
β_j = efecto del j -ésimo nivel del factor B	$j = 1, 2, \dots, b$
$(\tau\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre τ_i y β_j	$k = 1, 2, \dots, n$
ε_{ijk} = Componente del error aleatorio	

Figura 5. Modelo estadístico de un diseño factorial completo aleatorizado 3^2 .

Fuente: Fernández (46).

A continuación, en la tabla 8 se denotan los dos factores elegidos con sus respectivos niveles.

Tabla 8. Factores y niveles experimentales de estudio.

Factores	Niveles	Unidad de medida
A: Velocidad de agitación	20	RPM
	30	RPM
	40	RPM
	100	mg/L
B: Dosificación de la penca de tuna	150	mg/L
	200	mg/L

Resumen del diseño			
Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	9	Total de corridas:	18
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Figura 6. Resumen del diseño factorial completo aleatorizado 3².

Fuente: generado en Minitab 19.

De la misma forma, la figura 7 muestra el total de corridas experimentales a efectuar, tras haberse establecido las combinaciones entre niveles de manera aleatorizada, misma que contempla sus dos réplicas.

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Velocidad de agitación	Dosis de penca	Coliformes T.
1	14	1	1	1	30	150	
2	12	2	1	1	20	200	
3	3	3	1	1	20	200	
4	4	4	1	1	30	100	
5	6	5	1	1	30	200	
6	16	6	1	1	40	100	
7	13	7	1	1	30	100	
8	18	8	1	1	40	200	
9	7	9	1	1	40	100	
10	9	10	1	1	40	200	
11	17	11	1	1	40	150	
12	5	12	1	1	30	150	
13	10	13	1	1	20	100	
14	8	14	1	1	40	150	
15	1	15	1	1	20	100	
16	11	16	1	1	20	150	
17	2	17	1	1	20	150	
18	15	18	1	1	30	200	

Figura 7. Hoja de trabajo del total de corridas experimentales obtenidas aleatoriamente.

Fuente: diseñado en Minitab 19.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población estuvo constituida por toda el agua residual que genera la población del Centro Poblado de Huari, efluente que es recepcionado y transportado por medio de un sistema de alcantarillado hacia su punto de vertimiento, en este caso, el río Chanchas.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo representada por 19 L de agua residual, las mismas que fueron colectadas de manera no probabilística y por conveniencia a la salida del punto de descarga, procurando utilizar materiales que mantengan sus condiciones iniciales según lo establecido en el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales”, normativa aprobada mediante R.M. N° 273-2013-Vivienda, para posteriormente ser trasladados al laboratorio de análisis ambiental “GRUPO JHACC” donde se dio paso a las pruebas experimentales y los respectivos análisis.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

De acuerdo con Inga (19), la técnica que más se adecúa a este tipo de estudios es la observación experimental e *in situ*.

Por otro lado, la determinación de las condiciones aceptables de los factores involucrados y valores definitivos del medio utilizado (penca de tuna) para el tratamiento de las aguas residuales del vertido en cuestión, fue posible gracias al uso de la técnica de prueba de jarras, misma que se desarrolló a escala de laboratorio.

Con respecto a la determinación del contenido de coliformes termotolerantes, antes y después de realizado el tratamiento, esta fue posible gracias al empleo de la técnica de fermentación en tubos múltiples (FTM).

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que permitieron el desarrollo de la investigación estuvieron constituidos por fichas de registro de datos, así como un conjunto de materiales y equipos que serán listados a continuación.

a) Materiales:

Tabla 9. *Materiales utilizados en las diferentes etapas del estudio.*

Etapa de preparación del coagulante	Etapa de muestreo	Etapa de experimentación
<ul style="list-style-type: none"> • 1 cuchillo. • 1 tabla de picar. • 1 bandeja. • 1 molino. • 1 colador. 	<ul style="list-style-type: none"> • 19 frascos de polietileno esterilizados (1 L). • 1 cooler. • 3 ice packs. • 1 vaso de precipitado (250 ml). • 1 frasco lavador. • 1 balde de plástico (20 L). 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 probeta graduada de 1L. • 10 y 8 vasos de precipitado de 1 y 2 L, respectivamente. • 18 vidrios de reloj. • 1 cuchara de medición. • 1 espátula. • 1 pincel.

b) Equipos:

Tabla 10. Equipos utilizados en las diferentes etapas del estudio.

Etapa de preparación del coagulante	Etapa de muestreo	Etapa de experimentación
<ul style="list-style-type: none"> • Cámara fotográfica. • Balanza analítica digital de marca MRC ASB-220-C2-V2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara fotográfica. • GPS. • Multiparámetro de marca HI 9811-5. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara fotográfica. • Balanza analítica digital de marca MRC ASB-220-C2-V2. • Equipo de prueba de jarras de marca JLT de 4 floculadores. • Cronómetro.

Cabe mencionar que adicionalmente se utilizó agua destilada.

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

3.5.1. Ubicación geográfica

El área de estudio se sitúa en el Centro Poblado de Huari, distrito de Huancan, provincia de Huancayo, región Junín, a una longitud de 12777 E, una latitud de 75123409 N y una altitud de 3198 msnm.



Figura 8. Punto de vertimiento de las ARD del Centro Poblado de Huari.

Fuente: adaptado empleando Google Earth.

3.5.2. Obtención del coagulante en polvo

Antes de explicar la forma de obtención del coagulante en polvo, debemos manifestar que la materia prima (penca de tuna) se sacó de una parcela de plantaciones de tuna ubicada a pocos metros del punto de emisión del agua residual, así como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Parcela de tuna ubicada próximo al área de estudio.

Dicho lo anterior, se procede a detallar los pasos que se siguió para la obtención del biocoagulante:

1. Se cosecharon 6 unidades de cladodio de tuna, con dimensiones de 35.25 cm de largo, 18.6 cm de ancho y 1.5 cm de espesor en promedio. Para ello, se procuró recoger solo aquellas pencas que presentaban buena apariencia.



Figura 10. Cosecha y lavado de las pencas de tuna.

2. Luego, se procedió a lavar y retirar la parte externa que los cubre (cutícula). Seguidamente, se pasó a cortarlos en pequeños trozos en forma de cubos con dimensiones de 4x2.5x1 cm en promedio.



Figura 11. Pelado y picado de las pencas de tuna.

3. Los cubos obtenidos fueron colocados sobre una bandeja y trasladados a un espacio en donde fueron dispuestas sobre un mantel. De esa manera quedaron expuestas al sol, a fin de lograr su deshidratación. Al término de 10 días, recién se pudo evidenciar que quedaron completamente secas.



Figura 12. Secado de las pencas de tuna.

4. Después de lo anterior, estos fueron triturados en un molino, para posteriormente culminar con el proceso de tamizado.



Figura 13. Molienda y tamizado de las pencas de tuna.

Es conveniente señalar que de un total de 5.200 kg de penca de tuna se obtuvieron 0.300 kg de coagulante en polvo. En base a ello, se efectuó el cálculo del rendimiento del proceso de obtención del coagulante, para lo cual se adoptó la siguiente expresión:

$$R = \frac{M_o}{M_i} \times 100 \%$$

Donde:

*R: Rendimiento.

*M_o: Masa obtenida del coagulante

*M_i: Masa inicial de la penca.

Por tanto:

$$R = \frac{M_o}{M_i} \times 100 \%$$

$$R = 0.300/5.200 \times 100 \%$$

$$R = 5.769 \%$$

En tanto, es conveniente expresar que del 100 % de penca, solo se obtuvieron 5.769 % de coagulante utilizable.



Figura 14. Coagulante en polvo, obtenido al término del proceso.

3.5.3. Muestreo de agua residual

Tras llegar al sitio de muestreo, se procedió a:

- Llenar los frascos de polietileno (1L) previamente esterilizados con agua residual; dejando un espacio prudente para la aerobiosis de los microorganismos.
- Almacenar las muestras en un cooler y conservarlos con el uso de ice pack.
- Llenar la cadena de custodia (ver Anexo B).
- Determinar los parámetros de campo como el pH, temperatura y conductividad eléctrica (ver Anexo A).
- Determinar el caudal del efluente.



Figura 15. Punto de muestreo del agua residual.

Por último, todas las muestras fueron transportadas al laboratorio de análisis ambiental "GRUPO JHACC".

3.5.4. Determinación de la dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta, mediante el método de coagulación-floculación con el uso del equipo de prueba de jarras

Para encontrar los valores de la dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta que deriven resultados favorables, se tuvo que efectuar una serie de tratamientos a las muestras residuales por medio del equipo de prueba de jarras, para lo cual se realizó lo siguiente:

1. Antes de que las muestras residuales sean dispuestas en cada jarra de capacidad de 1 L, estas tuvieron que ser medidas con ayuda de una probeta graduada (1 L). Las mediciones, se efectuaron en base a un orden aleatorio previamente diseñada (ver tabla 11). Acto seguido, se hicieron los pesajes del coagulante en concentraciones de 100, 150 y 200 mg con ayuda de una balanza analítica.

Tabla 11. *Orden aleatorio del tratamiento de las muestras residuales.*

Nº Muestra	Tratamiento aleatorio de las MR	Tiempo de agitación lenta (RPM)	Dosis de penca (mg/L)
ARD-01	0.020474146	20	200
ARD-17	0.035586145	20	200
ARD-06	0.338952099	20	100
ARD-02	0.465873606	20	100
ARD-18	0.49776566	30	150
ARD-08	0.570409686	30	100
ARD-16	0.626815026	30	200
ARD-05	0.640728024	30	100
ARD-03	0.656594614	40	100
ARD-14	0.674618469	40	200
ARD-10	0.709733745	40	100
ARD-04	0.746636301	40	200
ARD-09	0.79808023	20	150
ARD-0	0.817746052	-	-
ARD-11	0.841051097	20	150
ARD-15	0.86325273	30	150
ARD-07	0.876451256	30	200
ARD-12	0.908660157	40	150
ARD-13	0.961442019	40	150

2. Posterior a ello, se ubicaron los primeros 4 vasos de precipitado (1 L) sobre el equipo de prueba de jarras, de manera que las paletas quedaron fijas al centro de cada jarra. Después, se adicionaron simultáneamente las concentraciones de coagulante en cada una de las jarras en el orden aleatorio dispuesto por Minitab 19 (figura 7).



Figura 16. Pesaje y adición del coagulante sobre las muestras medidas con antelación.

3. Luego, se procedió a programar la velocidad de agitación rápida a 250 RPM durante 2 min. Seguidamente, se pasó a programar la velocidad de agitación lenta a 20, 30 y 40 RPM en un lapso de 15 min. Por último, cada jarra se dejó sedimentar durante 20 min.

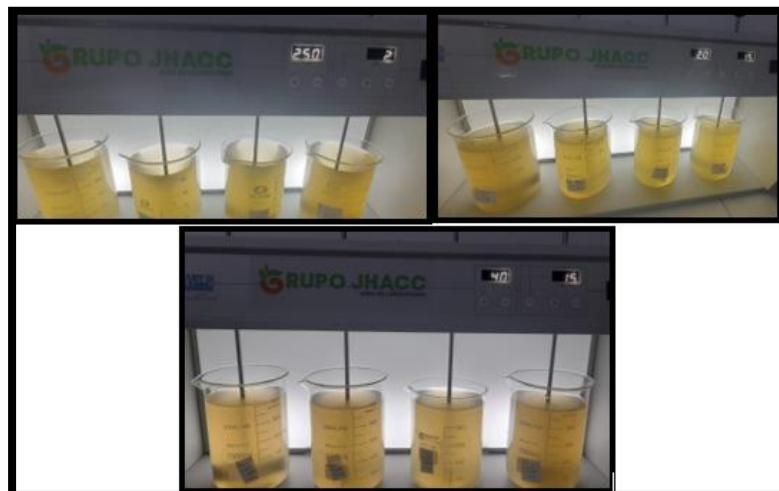


Figura 17. Programación de velocidad de agitación rápida y lenta de las muestras.

4. Finalmente, cada muestra residual tratada fue derivada a manos de los laboratoristas a fin de que puedan ejecutar los ensayos correspondientes.

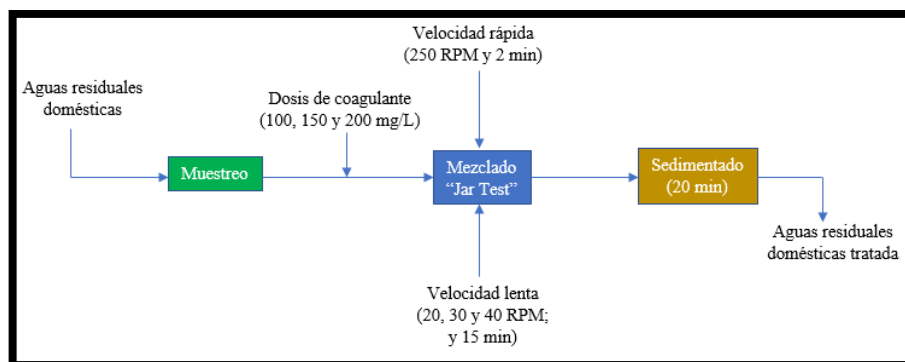


Figura 18. Diagrama de las pruebas experimentales.

Cabe precisar que, por cuestiones de tiempo y por disposición de un solo equipo de prueba de jarras de 4 floculadores. Los tratamientos tuvieron que ser ejecutados en 6 grupos, el primer y segundo grupo tuvo una programación de velocidad de agitación lenta de 20 RPM, el tercer y cuarto de 30 RPM y el quinto y sexto de 40 RPM, todos efectuados a una misma velocidad de agitación rápida y en un solo día, eso significa que por cada programación de agitación lenta se llevaron a cabo 6 corridas experimentales.

3.5.5. Determinación de parámetros fisicoquímicos en campo

A fin de contar con datos de algunos de los parámetros fisicoquímicos influyentes en el proceso de coagulación-floculación, al llegar a campo se hicieron las mediciones de los analitos temperatura, pH y conductividad eléctrica por medio de un equipo multiparámetro. Es importante señalar que, para este estudio, los parámetros pH y temperatura fueron considerados como factores no controlables o variables ruido.

Tabla 12. *Parámetros fisicoquímicos medidos in situ.*

Parámetro	Valores de campo
Temperatura (°C)	16.30
pH	6.80
Conductividad eléctrica (μS)	1700.00
Caudal (L/s)	0.39

La presentación de los datos mostrados en la tabla 12, es el resultado del promedio de tres mediciones efectuadas a cada parámetro. Dichas mediciones se ejecutaron antes, durante y al término de la colecta de muestras, por ende, podemos deducir que el ARD en estudio presenta un pH ligeramente ácido y una concentración elevada de sales disueltas. Del mismo modo, para el cálculo del caudal se recurrió a la expresión matemática que viene determinada por el método volumétrico (Anexo VII - R.M. N° 273-2013-Vivienda), el cual se describe a continuación:

$$Q = V/T$$

Donde:

*Q = caudal (L/s).

*V = volumen (L).

*T = tiempo (s).



Figura 19. Determinación de los parámetros fisicoquímicos.

3.5.6. Evaluación de la influencia del “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de CTE de las ARD

Para evaluar la influencia que ejerce la planta utilizada en este estudio, se tuvieron que determinar los efectos principales y efectos de interacción de los factores dosis de coagulante y velocidad de agitación lenta. En esta sección, se presentan gráficamente los porcentajes de disminución de CTE que muestra cada factor de forma independiente a partir de los tres niveles considerados para cada uno. Es más, se muestra a modo perceptivo la variación de la variable respuesta en función a los cambios propuestos para cada variable independiente.

3.5.7. Determinación de eficacia del “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de CTE de las ARD

La determinación de eficacia del “*Opuntia ficus-indica*”, estuvo guiada por medio del método de coagulación-floculación. Es así como a partir de la concentración de CTE en la muestra de control y en las muestras sometidas a tratamiento, se pudo determinar el nivel de eficacia de este biocoagulante. Asimismo, esta característica estuvo determinada por las normativas ambientales vigentes; siendo estas, el D.S. N° 004-2017-MINAM y el D.S. N° 003-2010-MINAM.

$$\% \text{ de remoción de CTE} = \frac{\text{CTE}_o - \text{CTE}_t}{\text{CTE}_o} \times 100$$

Donde:

* CTE_o es la concentración inicial de CTE (muestra control).

* CTE_t es la concentración final de CTE (muestras tratadas).

3.5.8. Determinación de los valores óptimos de la dosis de coagulante y velocidad de agitación lenta para la disminución de CTE de las ARD

Mediante la elección y definición del método de análisis de superficie de respuesta que viene incluido en el paquete estadístico Minitab 19, se pudo precisar los valores óptimos de los factores involucrados en la disminución de CTE de las ARD. Mediante lo anterior, fue posible la optimización de la variable dependiente (disminución de CTE) ya que se trabajó con dos variables independientes de naturaleza cuantitativa, como los que se consideraron en este proyecto.

Para dar inicio con el proceso de optimización, se tuvieron que esperar los resultados de análisis de laboratorio. Una vez recibidos, se comenzaron a ingresar dichos valores a la hoja de trabajo de Minitab 19 previamente diseñada (ver figura 7), y mediante la herramienta “optimizador de respuesta” se pudieron hallar los valores de los factores que permiten la máxima disminución de CTE de las ARD. En ese sentido, podríamos recomendar que se corroboren dichos valores considerando más réplicas.

De hecho, las gráficas que se mostrarán en el Capítulo IV sirven de mucha ayuda para la explicación y comprensión del comportamiento ejercido por parte de los factores sobre la variable de análisis, así como la contrastación estadística de los resultados obtenidos luego de haber efectuado los tratamientos correspondientes en laboratorio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

- 4.1.1. Determinación de la dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta, mediante el método de coagulación-floculación con el uso del equipo de prueba de jarras

Antes de efectuar el análisis de los efectos y la eficiencia del "*Opuntia ficus-indica*" en la disminución de CTE de las ARD, debemos hacer mención que los ensayos aplicados a la muestra testigo (ARD-0) arrojaron como resultado una concentración > 110 000 NMP/100ml de CTE (ver Anexo A). El resultado anterior se fundamenta en que la metodología de análisis microbiológico utilizada considera como valor máximo (límite superior) de identificación de bacterias los 110 000 NMP/100ml, en consecuencia, no se pueden expresar como valores exactos, a aquellos que sobrepasan dicho valor.

- a) Concentración de CTE después del tratamiento de las ARD:

Los valores de concentración de CTE (expresados en NMP/100ml) después del tratamiento de las ARD, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13. Valores de concentración de CTE después del tratamiento de las ARD.

Nº de tratamiento	Factores		Variable respuesta (disminución de CTE (NMP/100ml))	
	Velocidad de agitación lenta (RPM)	Dosis de penca (mg/L)	Réplica I	Réplica II
1	20	100	>110 000	>110 000
2	20	150	>110 000	>110 000
3	20	200	>110 000	>110 000
4	30	100	>110 000	>110 000
5	30	150	110 000	>110 000
6	30	200	110 000	110 000
7	40	100	110 000	110 000
8	40	150	110 000	110 000
9	40	200	46 000	46 000

En base a lo presentado en la tabla 13, debemos resaltar que la máxima disminución de CTE es de 64 000 NMP/100ml, derivado de una dosis de 200 mg/L y una velocidad de agitación lenta de 40 RPM. Por otro lado, los resultados de las pruebas de los 8 primeros tratamientos no presentaron ninguna evidencia resaltante de disminución de CTE, por lo que en términos numéricos sus efectos fueron casi nulos (0), por tanto, podemos deducir que el agua tratada con los niveles de los factores que lograron una máxima reducción de CTE no puede ser empleada para ninguna de las actividades precisadas en los ECA para agua, a menos que se adopten otros medios de tratamiento avanzado.

Asimismo, en vista a los resultados poco variables y no favorables, creímos conveniente efectuar de forma adicional dos corridas experimentales de control (posprueba), en las cuales se consideraron valores más altos de los factores (ver Anexo C), esto con el objetivo de determinar la existencia de una proporción inversa entre la disminución de CTE y los valores de las variables de tratamiento.

Tabla 14. Valores de concentración de CTE tras las pospruebas.

Nº de tratamiento	Factores		Variable respuesta (disminución de CTE (NMP/100ml))
	Velocidad de agitación lenta (RPM)	Dosis de penca (mg/L)	
1	60	400	46 000
2	70	600	29 000

Tal como muestra la tabla 14, podemos inferir que a una mayor dosificación el contenido de CTE sufre un cambio positivo, puesto que va disminuyendo.

4.1.2. Evaluación de la influencia del “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de CTE de las ARD

A fin de poder determinar y demostrar estadísticamente los efectos que ejercen los factores sobre la variable respuesta y efectuar la respectiva prueba de hipótesis, los resultados que se muestran como > 110 000 NMP/100ml, fueron considerados solamente como 110 000 NMP/100ml. A continuación, la figura 20 expone los efectos que desempeñaron cada una de las variables de tratamiento sobre la variable de análisis (% disminución CTE).

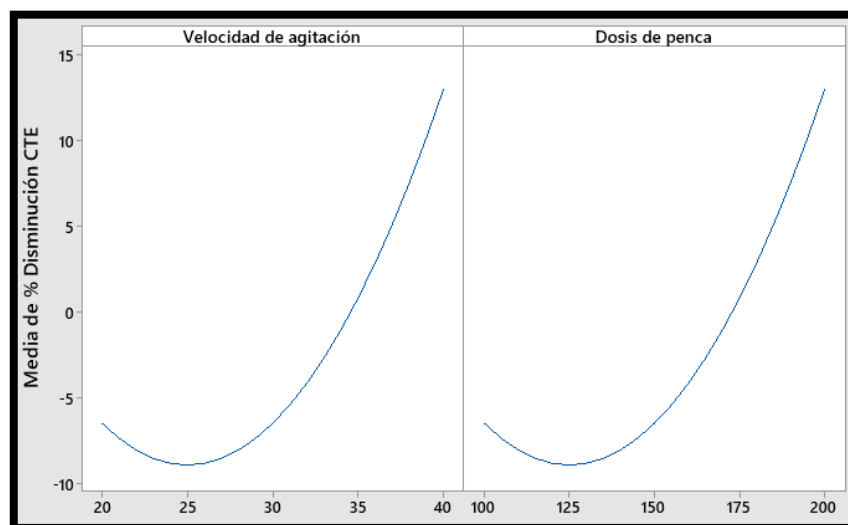


Figura 20. Efectos principales de los factores involucrados en el % de disminución de CTE de las ARD.

En concordancia con la figura 20, debemos manifestar que el efecto que deriva la velocidad de agitación lenta en la disminución de CTE es positivo, ya que mientras mayor sea la velocidad, mejores son los resultados. En tanto, la dosis de coagulante también presenta una tendencia lineal, puesto que, a mayor dosis, mayores son los efectos positivos. En la figura 21 se exponen los efectos de interacción de los dos factores.

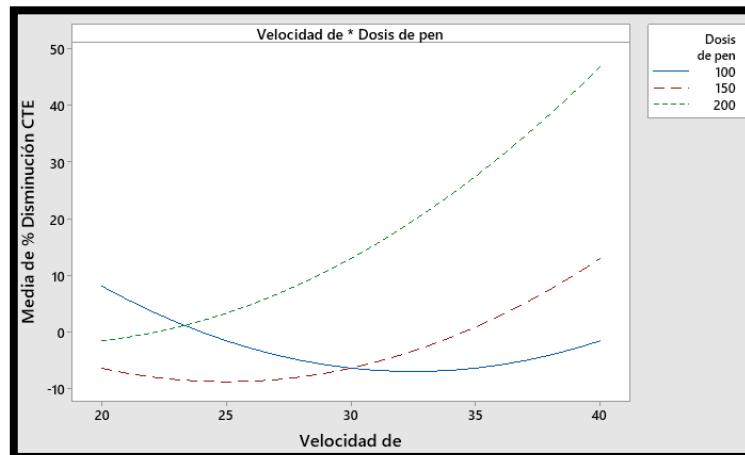


Figura 21. Efectos de interacción de los factores involucrados en el % de disminución de CTE de las ARD.

Como se puede evidenciar, la figura 21 muestra el efecto de interacción entre ambos factores, dado que el efecto ejercido por la dosis de coagulante es distinto a diferentes velocidades de agitación. Por tanto, se deduce que a mayores niveles de tratamiento los resultados derivan efectos mucho más favorables. La afirmación anterior se fundamenta en los resultados obtenidos en las pospruebas.

4.1.3. Determinación de eficacia del “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de CTE de las ARD

Con el objeto de determinar la capacidad biocoagulativa del “*Opuntia ficus-indica*” en la disminución de CTE de las ARD, se recurrió a efectuar los cálculos correspondientes en base a la fórmula presentada en el ítem 3.5.7. Para ello, se tomó como punto de partida los datos expuestos en la tabla 13.

Tabla 15. *Porcentaje de disminución de CTE después del tratamiento de las ARD.*

Nº de tratamiento	Factores		Disminución de CTE (%)	
	Velocidad de agitación lenta (RPM)	Dosis de penca (mg/L)	Réplica I	Réplica II
1	20	100	0.00	0.00
2	20	150	0.00	0.00
3	20	200	0.00	0.00
4	30	100	0.00	0.00
5	30	150	0.00	0.00
6	30	200	0.00	0.00
7	40	100	0.00	0.00
8	40	150	0.00	0.00
9	40	200	58.18	58.18

En base a lo presentado en la tabla 15, se concluye que el máximo porcentaje de disminución de CTE (58.18 %) procede de una velocidad de agitación de 40 RPM y una dosis de penca de 200 mg/L. En cambio, el resto de corridas experimentales no derivaron ningún efecto positivo, por tanto, de modo similar a lo explicado en la tabla 13 y, tomando como referencia normativa al D.S. N 004-2017-MINAM, podemos señalar que estas aguas pueden ser reutilizadas para el consumo humano solo si se someten a procesos de tratamiento avanzado.

Por otro lado, la tabla 16 muestra el porcentaje de disminución de CTE tras efectuar las dos corridas experimentales de control (posprueba), y tomando como punto de partida la caracterización de la muestra residual representada mediante ARD-0.

Tabla 16. *Porcentaje de disminución de CTE tras las pospruebas.*

Nº de tratamiento	Factores		Variable respuesta (% disminución de CTE)
	Velocidad de agitación lenta (RPM)	Dosis de penca (mg/L)	
1	60	400	58.18
2	70	600	73.64

En base a la tabla 16, se deduce que mientras mayor es la dosificación o el rango de la misma, mejor tasa porcentual de disminución se presenta.

4.1.4. Determinación de los valores óptimos de la dosis de coagulante y de la velocidad de agitación lenta para la disminución de CTE de las ARD

La determinación de los valores óptimos de la dosis de coagulante en polvo y la velocidad de agitación lenta, tuvo su razón de ser en el diseño de superficie de respuesta, a través de la herramienta “optimizador de respuesta” de Minitab 19. Mediante este tipo de diseño, fue posible maximizar los resultados de las variables de análisis.

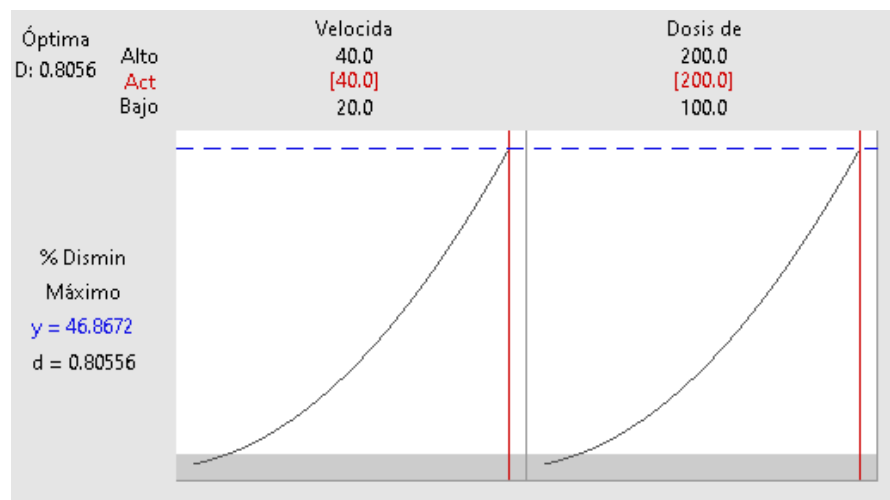


Figura 22. Optimización de las variables de tratamiento y análisis.

Como se puede apreciar la figura 22, muestra como valores óptimos a los siguientes: 200 mg/L de dosis de coagulante, 40 RPM de velocidad de agitación lenta y un porcentaje de disminución de CTE de 46.8672 % \pm 0.80556.

A modo de complementar lo descrito con anterioridad, creemos conveniente valernos de lo representado en la figura 23.

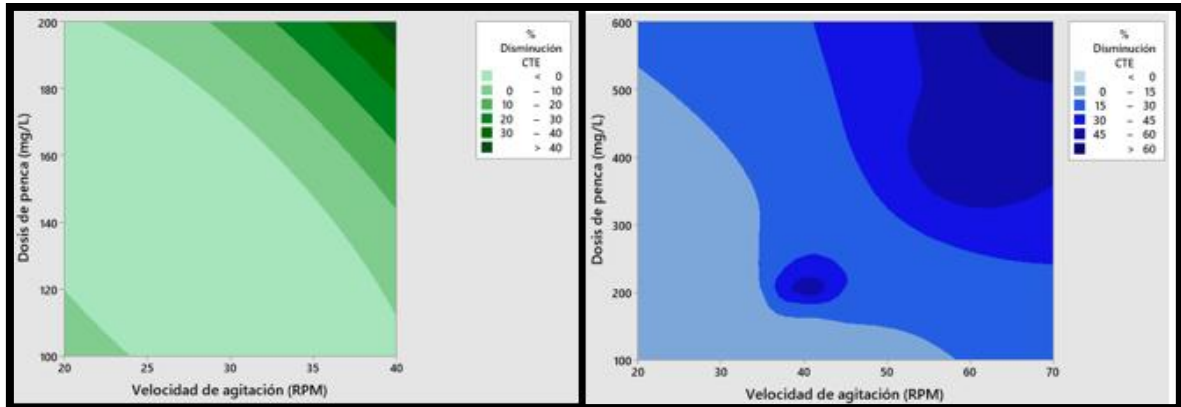


Figura 23. Gráfica de contorno del % de disminución de CTE en base a las variables experimentales.

Las tonalidades que muestra la figura 23, nos indica que a medida que se incremente la dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta, el porcentaje de disminución de CTE de las ARD será superior al 40 % (figura a) y 60 % (figura b).

4.2. Prueba de hipótesis

Para evaluar los efectos que ejercen la dosis de coagulante en polvo y la velocidad de agitación lenta, se adoptó el análisis de varianza sobre la base del diseño factorial completo aleatorizado 3^2 . Para ello, consideramos las siguientes hipótesis:

- H_0 = La influencia que ejerce la dosis de “*Opuntia ficus-indica*” y la velocidad de agitación lenta en la disminución de CTE de las ARD mediante el método de coagulación-floculación, no es significativa.
- H_1 = La influencia que ejerce la dosis de “*Opuntia ficus-indica*” y la velocidad de agitación lenta en la disminución de CTE de las ARD mediante el método de coagulación-floculación, es significativa.

Previo a ello, se tuvo que ejecutar la prueba de normalidad de la variable respuesta, con el propósito de conocer la distribución de los datos y contrastar la hipótesis de investigación.

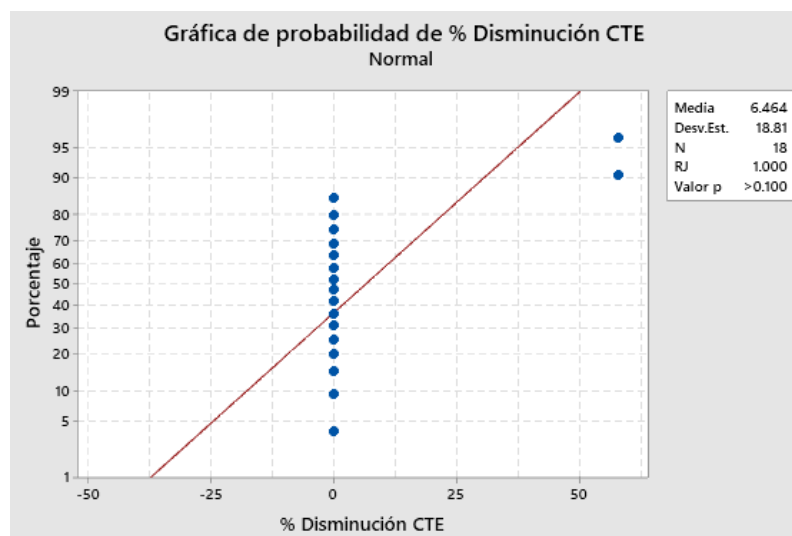


Figura 24. Prueba de normalidad de la variable respuesta.

Con lo presentado en la figura 24, y en base al valor p, se deduce que nuestros datos denotan una distribución normal, por tanto, aceptamos la hipótesis nula y recurrimos al uso de la prueba ANOVA como medida paramétrica para la validación de lo afirmado.

Tabla 17. Resultados del análisis de varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	4701.27	940.25	8.57	0.001
Lineal	2	2256.61	1128.30	10.29	0.003
Velocidad de agitación	1	1128.30	1128.30	10.29	0.008
Dosis de penca	1	1128.30	1128.30	10.29	0.008
Cuadrado	2	752.20	376.10	3.43	0.066
Velocidad de agitación*Velocidad de agitación	1	376.10	376.10	3.43	0.089
Dosis de penca*Dosis de penca	1	376.10	376.10	3.43	0.089
Interacción de 2 factores	1	1692.46	1692.46	15.43	0.002
Velocidad de agitación*Dosis de penca	1	1692.46	1692.46	15.43	0.002
Error	12	1316.35	109.70		
Falta de ajuste	3	1316.35	438.78	*	*
Error puro	9	0.00	0.00		
Total	17	6017.62			

Como se puede contemplar la tabla 15, en ella se presentan los factores de estudio en su componente lineal, cuadrático y de interacción. Cada una de ellas con sus respectivos grados de libertad (GL), suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.), cuadrados medios ajustada (MC Ajust.), valor de distribución (Valor F) y nivel de significancia (Valor p). Pero lo más resaltante, son los valores p de cada factor, mismos que nos permiten emitir un juicio de valor respecto a los efectos significativos que estos ejercen sobre la variable dependiente. En ese contexto, podemos afirmar que los únicos que ejercen efectos significativos son los componentes lineales (dosis de coagulante y velocidad de agitación lenta) y su interacción entre las mismas. Cabe resaltar que para la deducción anterior se tuvo que recurrir a la regla de decisión del valor p, que menciona que aquellos que tengan un grado de significancia menor a 0.05 son quienes ejercen efectos significativos.

A manera de lograr una mayor comprensión del párrafo precedente, es necesario la presentación de siguiente figura.

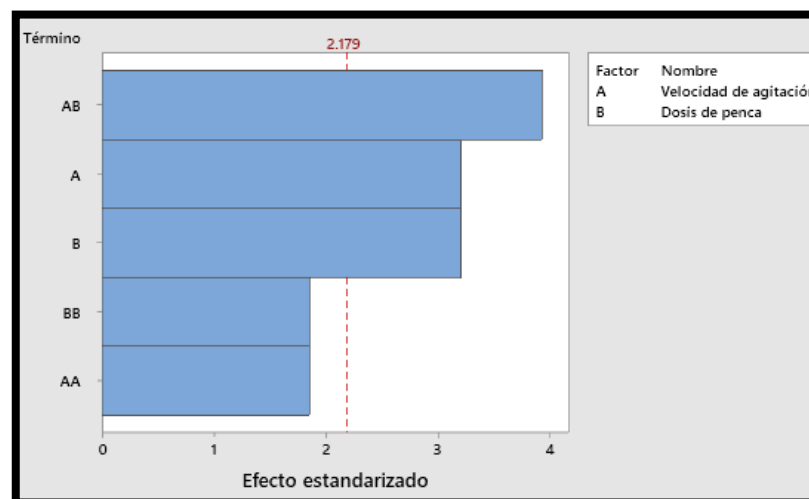


Figura 25. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Sobre la base de la figura 25, y partiendo de la línea referencial dispuesto por la misma, se puede reafirmar lo mencionado anteriormente, dado que los únicos que sobrepasan dicha línea son los componentes lineales de los factores dosis de coagulante, velocidad de agitación lenta y su interacción, mientras que el resto de factores no ejercen ningún efecto significativo. Asimismo, se puede notar que la interacción entre ambos factores es el que ejerce mayor efecto significativo.

4.3. Discusión de resultados

Debemos manifestar que en la presente investigación se manipularon tan solo dos factores, siendo estos la velocidad de agitación lenta y la dosis de coagulante, los mismos que derivaron ciertos efectos en la disminución de CTE de las ARD. A fin de que el coagulante presente resultados mucho más favorables en el tratamiento de este tipo de efluentes, creemos oportuno que se debería considerar al pH como variable de tratamiento dentro del proceso experimental.

Al ver que los resultados de las pruebas experimentales no mostraban mucha diferencia del NMP entre sí, fue necesario efectuar una posprueba con el objeto de emitir un pronóstico más conciso respecto a la capacidad del coagulante. Los nuevos resultados parecen indicar que mientras mayores sean la dosificación y velocidad, mayor disminución de CTE se deriva.

En tanto, la mayor disminución porcentual de CTE que se alcanzó a la dosis de coagulante de 100, 150 y 200 mg/L fue de 0.00 %, 0.00 % y 58.18 %, correspondientemente. Los valores hacen ver que, si se aumentan las concentraciones de coagulante, los resultados presentarán mejoras propicias para el tratamiento de las ARD. A fin de dar fe a lo mencionado con anterioridad, los resultados de la posprueba, muestran que con una dosis de 600 mg/L se disminuyó 73.64 % de CTE, valor que supera al máximo porcentaje de disminución inicial (58.18 %), por consiguiente, debemos expresar que mientras mayor coagulante se añada a la unidad experimental, mayor será la disminución de CTE.

En cuanto se refiere a la velocidad de agitación lenta, las velocidades de 20, 30 y 40 RPM lograron una mayor disminución porcentual de CTE de 0.00 %, 0.00 % y 58.18 %, respectivamente. Tal parece que, si consideramos la programación de más niveles (valores más altos) para este factor, la concentración de CTE dentro de las ARD presentaría una tendencia de decaimiento, lo cual favorecería a la solución del problema. Es así que, con una velocidad de 70 RPM, se logró una reducción de 81 000 NMP/ 100ml de CTE, sin embargo, es necesario manifestar que no se debe exceder con la programación de la velocidad de floculación, puesto que se ocasionaría el efecto de cizalladura de los flóculos en formación, por lo que es conveniente expresar que mientras más rápida se la agitación, mayor

rompimiento de flóculos habrá, caso contrario, mientras menor sea la agitación, mayor será la cantidad de flóculos intactos (47).

Asimismo, cabe expresar que la mayor tasa de disminución (58.18 %) se logró con una dosis de 200 mg/L y una velocidad lenta de 40 RPM. Al considerar esos mismos valores de manera constante, originarían una disminución del 46.6872 ± 0.80556 % de CTE, catalogándose como los valores óptimos en este estudio. En cambio, al emplear una mayor cantidad de coagulante y aumentar la velocidad de floculación como lo realizado en las pospruebas, el porcentaje de disminución se acrecienta.

Al efectuar una comparación entre el resultado derivado de una dosis de 200 mg/L a 40 RPM y la otra de 400 mg/L a 60 RPM, vemos que no hay ninguna diferencia en el valor del NMP (46 000), por lo tanto, creemos que las muestras residuales recolectadas en diferentes momentos del tiempo deben su mismo valor a las diferencias de turbidez, ya que las muestras de las prepruebas mostraron una turbidez menor a lo presentado por las muestras destinadas para las pospruebas. Asimismo, todo parece indicar que ese mismo valor se debe a la concentración de estos microorganismos, dado que mientras más turbia sea el agua residual, mayor es la presencia de coliformes. En consecuencia, existe una mayor probabilidad de contaminación microbiológica debido a que la materia orgánica y las partículas suspendidas sirven de refugio de estos organismos (48). Además, los rangos de los niveles de los factores considerados en un inicio fueron muy cortos, mientras que las pospruebas tuvieron lugar a rangos más elevados de dosificación.

Como resultado de las pruebas posteriores, se espera que a medida que se incremente la dosificación de la penca de tuna, se logre obtener un resultado favorable que conlleve a una disminución óptima de CTE ($\leq 10\ 000$ NMP/100ml), para de esa forma lograr cumplir con los LMP y los ECA-agua establecidas por las entidades correspondientes. Cabe resaltar que lo anterior tan solo es un pronóstico basado en la tendencia de mejora presentado entre las pre y pospruebas, más no es una afirmación.

En virtud con lo descrito en los párrafos precedentes, se hace necesario manifestar que los resultados obtenidos no cumplen con ninguno de los valores límites que se estipulan en el D.S. N° 004-2017-MINAM y el D.S. N° 003-2010-MINAM, por lo que las ARD tratadas no pueden ser reutilizadas, ni tampoco pueden ser vertidas a esas condiciones por ningún motivo. En ese sentido, resulta conveniente efectuar

investigaciones exhaustivas en las que se consideren más factores y niveles de tratamiento, en vista a los resultados obtenidos en las pospruebas y a los desenlaces positivos logrados en otros trabajos que son expuestos más adelante.

Luego de efectuar una búsqueda minuciosa de estudios precedentes que guarden analogía con el enfoque de esta investigación, debemos enunciar que no se encontró ningún otro trabajo que contemple el conjunto de características que se pretende comparar, sin embargo, resulta apropiado exhibir algunas otras investigaciones idénticas, en aras de efectuar ciertos cotejos en lo que respecta al uso del "*Opuntia ficus-indica*" y el método de coagulación-floculación a través de la técnica de prueba de jarras.

De acuerdo con Coayla y Peña (49), su estudio tuvo el objeto de evaluar la eficiencia de la penca de tuna en la calidad del agua proveniente de una planta potabilizadora. Al término de ello, logró una reducción máxima y mínima de 370.00 y 1113.73 NMP/100ml de coliformes totales (CT) a partir de una dosis de 5 y 75 mg/L, respectivamente. Por su parte, Angulo *et al.* (50) hicieron uso del "*Opuntia ficus-indica*" para evaluar el nivel de sedimentación y purificación de un agua turbia, logrando remover 95.7 % de coliformes fecales (CF) a una dosis de 90 mg/L en un tiempo de sedimentación de 30 min. A su vez, Bernaola (51) manifiesta que los mejores resultados de clarificación de la sanguaza del camal de Yerbateros, se logró al usar 10 g/L de coagulante en polvo (penca de tuna) acondicionada a 140 RPM en un tiempo de 15 min. Es así que, los parámetros microbiológicos tuvieron un alto porcentaje de remoción (> 90 %).

En cambio, Velásquez (52), al emplear concentraciones de 600, 700 y 800 mg/L de penca en polvo fijadas a una velocidad rápida y lenta de 100 y 30 RPM, y un tiempo de velocidad rápida y sedimentación de 1 y 30 min, respectivamente, no logró ningún resultado esperado en la disminución de CTE. De la misma forma, Sánchez y Quintero (11), no evidenciaron ningún efecto positivo respecto a la capacidad antiséptica de la penca de tuna. Por último, como referente local debemos mencionar a Inga (19), quién con una concentración de 5mg/L alcanzó disminuir un 89.34 % de CT.

En tal sentido, debemos manifestar que los datos de este trabajo ayudan a demostrar de que efectivamente el *Opuntia ficus-indica* presenta una tendencia de mejora en la disminución de CTE de las ARD del Centro poblado de Huari, mismo

que podría ser empleado como compuesto natural dentro de la etapa de desinfección (tratamiento terciario) de una PTAR a fin de cumplir con el nivel de concentración del parámetro en estudio.

Por otro lado, es importante señalar que los tratamientos con coagulantes naturales necesitan de grandes concentraciones para poder obtener un rendimiento óptimo de remoción y/o disminución de contaminantes, razón por la cual la evaluación técnico-económica para la aplicación de este tipo de coagulante a mayor escala quedaría pendiente. Adicionalmente, cabe expresar que, desde el punto de vista técnico, el uso del *Opuntia ficus-indica* para dar solución a problemas reales de gran escala necesita de una gran cantidad de materia prima, convirtiéndose así en un impedimento para su aplicación. No obstante, debemos aclarar que esta planta si presenta una gran efectividad en los procesos de tratamiento de aguas residuales de otra naturaleza, así como en la remoción de otro tipo de contaminantes, ello demostrado según refieren algunos estudios contemplados en el acápite 2.1.

CONCLUSIONES

1. El *Opuntia ficus-indica* ejerce efectos poco significativos en la disminución de CTE de las ARD del Centro Poblado de Huari, puesto que tan solo una interacción entre factores redujo hasta un 58.18 % de estos microorganismos. En tanto, se deduce que, de acuerdo con los LMP y los ECA-Agua, este efluente al sobrepasar los 10 000 NMP/100ml no puede ser vertido en esas condiciones al cuerpo receptor, ni tampoco puede ser empleado para ninguna actividad precisada en las categorías de esta normativa, lo que significa que se tendría que recurrir a la elección de otros métodos de tratamiento convencional avanzado para su rehúso respectivo.
2. El coagulante en polvo derivado del *Opuntia ficus-indica* presenta propiedades singulares poco efectivas de coagulación-floculación al ser empleadas en pequeñas cantidades. En cambio, al considerar una velocidad mayor y dosificación alta, los resultados presentan una mejora positiva. Lo anterior se fundamenta en los resultados alcanzados en el presente estudio.
3. El mayor porcentaje de disminución de CTE (58.18 %), se logró con una dosis de coagulante de 200 mg/L y una velocidad de agitación lenta de 40 RPM, mientras que el mínimo (0 %) se originó a partir del resto de tratamientos. No obstante, los resultados derivados de las pospruebas indican que a mayor dosificación se acrecienta la tasa porcentual de disminución de CTE (73.64 %), como el obtenido a partir de 70 RPM y 600 mg/L.
4. Los valores óptimos estimados de dosis de coagulante y de velocidad de agitación lenta que dan lugar al máximo porcentaje de disminución de CTE ($46.8672 \% \pm 0.80556$) son 200 mg/L y 40 RPM, correspondientemente.

RECOMENDACIONES

1. En vista a los resultados derivados, se sugiere que los análisis microbiológicos se efectúen a través de un método que considere un rango más amplio de conteo del parámetro CTE, de modo que se obtengan datos numéricos exactos para las correspondientes pruebas estadísticas.
2. Se recomienda efectuar el muestreo y tratamiento de las ARD en diferentes momentos del tiempo, esto debido a que los parámetros nunca son constantes, por ende, existe la tendencia de variabilidad de la concentración del parámetro en estudio.
3. A fin de que el coagulante presente resultados mucho más favorables en el tratamiento de este tipo de efluentes, se aconseja considerar niveles más altos de los factores, así como el hecho de incluir al pH como variable de tratamiento dentro del proceso experimental.
4. Al efectuar el secado de la penca a condiciones ambientales, se sugiere que estos se piquen lo más pequeño posible, de modo que se deshidraten en un tiempo corto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) UNESCO. *Aguas residuales. el recurso desaprovechado*. París: Place de Fontenoy, 2017. ISBN: 978-92-3-300058-2.
- (2) SANCHO, J. [En línea]. La contaminación fecal, la más común en nuestras playas, 2014 [fecha de consulta: 10 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/20140702/54411472272/contaminacion-fecal-comun-playas.html>.
- (3) RODRÍGUEZ, D., y otros [En línea]. De residuo a recurso: cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe, 2020 [fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/94fe625b-75ef-590c-8019-24116cddb2ce>.
- (4) BARRANTES, K., y otros. Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica, 2010-2011. *Rev. Soc. Ven. Microbiol.*, 2013, 33(1), 40-45 pp. ISSN: 1315-2556.
- (5) SUNASS. *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el ámbito de las Empresas Prestadoras 2022*. Lima, 2022.
- (6) CABEZAS, C. Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 2018, 35(2), 309-316 pp. ISSN: 1726-4634.
- (7) CUSICHE, L. y MIRANDA, G. Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional "Lago Junín", Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2019, 10(6). ISSN: 2007-0934.
- (8) RAMOS, L., y otros. Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, caribe Colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 2008, 13(3), 87-98 pp. ISSN: 0120-548X.
- (9) AMAYA, J. *"El cultivo de la tuna" Opuntia ficus-indica*. Trujillo: Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009.
- (10) VARGAS, J. Evaluación de la eficacia de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Trabajo de Titulación (Grado Académico de Ingeniero Químico). Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.

- (11) SÁNCHEZ, P. y QUINTERO, P. Análisis de la capacidad desinfectante y de remoción de turbidez de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en aguas del río Teusacá en la vereda El Salitre, La Calera. Trabajo de Grado (Título de Ingeniero Ambiental). Colombia: Universidad Libre, 2020.
- (12) MIRANDA, E., y otros. Evaluación del proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de un efluente de la industria textil. Departamento de Gestión y Protección Ambiental, 2017, 1(3), 43-54 pp. ISSN: 2448-8186.
- (13) MOREJÓN, B. Utilización del mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi. Trabajo de Investigación (Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales). Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2017.
- (14) ALVAREZ, N. y CCAHUA, S. Remoción de turbidez usando biocoagulantes "*Echinopsis peruviana* y *Opuntia ficus-indica*" en muestras con suelo del río Tucuri, Santo Tomás. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, 2021.
- (15) LOZANO, L. Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos). Cajamarca: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, 2018.
- (16) QUISPE, H. Aplicación del mucílago extraído de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación del agua del río Uchusuma. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2012. pág. 106, Tesis de grado. Tesis (Título de Ingeniero Químico).
- (17) ALEGRE, P. y MENDOZA, E. Coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales de refinación del aceite de soya, Chosica - 2021. Tesis de grado. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2021.
- (18) GIL, P. Diseño de un biofiltro de mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para remover arsénico. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Chimbote: Universidad San Pedro, 2018.
- (19) INGA, G. Disminución de coliformes totales y turbidez mediante coagulantes naturales (*Opuntia ficus-indica*) del río Cunas, provincia de Chupaca. Tesis (Maestro en Ingeniería Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
- (20) MORILLO, L., y otros. Remoción de tensoactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante proceso Fenton. Rev. Int. Contam. Ambient., 2019, 35(4), 931-943 pp. ISSN: 0188-4999.

- (21) HENRY, G. y HEINKE, G. *Ingeniería ambiental*. México: Prentice Hall, 1999. ISBN: 970-17-0266-2.
- (22) NOYOLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J. y GÜERECÁ, L. *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México: Instituto de Ingeniería, 2013. ISBN: 978-607-02-4822-1.
- (23) JACO, E. Eficiencia de la *Opuntia ficus-indica* como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2021.
- (24) ORELLANA, J. y GUZMÁN, J. *Ingeniería ambiental*. México: Alfaomega, 2011. ISBN: 978-607-707-233-1.
- (25) ORELLANA, J. *Introducción a la ingeniería ambiental*. México: Alfaomega, 2002. ISBN: 970-18-7961-9.
- (26) ZAROR, C. *Introducción a la ingeniería ambiental en la industria de procesos*. Concepción: Universidad de Concepción, 2002. ISBN: 956-227-252-4.
- (27) LARREA, J., y otros. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Ciencias Biológicas*, 2013, 44(3), 24-34 pp. ISSN: 0253-5688.
- (28) CABRERA, J. y HERNÁNDEZ, M. Validación de la prueba de coliformes totales y fecales por la técnica de tubos múltiples utilizando un medio fluorogénico. Trabajo de Graduación (Licenciatura en Química y Farmacia). El Salvador: Universidad de El Salvador, 2008.
- (29) MARTÍN-DOMINGUEZ, A., y otros. Incidencia del gradiente de velocidad en la eficiencia de la electrocoagulación para remover arsénico en un reactor a flujo pistón. *Interciencia*, 2008, 33(7), 503-509 pp. ISSN: 0378-1844.
- (30) MÉNDEZ, F. *Los procesos industriales y el medio ambiente*. Colombia: Ediciones Unibagué, 2014. ISBN: 978-958-754-107-6.
- (31) SANTISTEBAN, E. *Aplicación de Opuntia ficus-indica (Nopal) como coagulante natural para la biorremediación de aguas residuales: revisión sistemática*. Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2020. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental).
- (32) PÉREZ, J. *Manual de tratamiento de aguas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1981.

- (33) ACEVEDO, Y. y HUAMAN, H. Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica - 2019. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2021.
- (34) MURILLO, S., MATILDE, G. y PACHECO, S. *Manual técnico para la elaboración de coagulantes/floculantes a partir de productos naturales*. Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje, 2020. ISBN: 978-958-15-0561-6.
- (35) CAHUATA, R. y BORDA, D. Evaluación del proceso de coagulación-floculación en la planta de tratamiento de agua potable Miskiunu-Santo Tomás para la eliminación de color. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2021.
- (36) CASTILLO, C. [En línea]. Taxonomía de la tuna en el Perú, 2014 [fecha de consulta: 8 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://willkamikhuna.lamula.pe/2014/07/31/taxonomia-de-la-tuna-en-el-peru/ccperalta/>.
- (37) ESPINO, E., RAFAEL, H. y TINGAL, I. Morfofisiología de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.). Tesina (Título de Ingeniero Forestal). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2012.
- (38) ROJAS, F. Efecto del coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* en la disminución de turbiedad en el agua del río Grande, Cajamarca 2021. Tesis (Maestro en Ciencias). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2022.
- (39) VILLAGOMEZ, M. *Cultive tunas y tendrá buenos ingresos*. Lima: Instituto Nacional de Investigación Agraria, 2000.
- (40) OLIVERO, R., y otros. Utilización de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*, 2014, 11(1), 70-75 pp. ISSN: 1794-4953.
- (41) CONTRERAS, K., y otros. El nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción+Limpia*, 2015, 10(1), 40-50 pp. ISSN: 1909-0455.
- (42) ASENSI, V. y PARRA, A. El método científico y la nueva filosofía de la ciencia. *Anales de documentación*, 2005, (5), 9-19 pp. ISSN: 1575-2437.
- (43) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

- (44) BALLEEN, M. y MORENO, K. *Diseño con estructura factorial 3² para evaluar los efectos en la variabilidad de color en un polvo compacto*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores, 2017.
- (45) GARCÍA, J. Obtención de fracciones de diseños factoriales a dos niveles con 32 observaciones. Tesis de grado. España: Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- (46) FERNÁNDEZ, S. Diseño de experimentos: diseño factorial. Tesis (Máster en Ingeniería Química). España: Universidad Politécnica de Catalunya, 2020.
- (47) PEREZ, F. y URREA, M. [En línea] . Coagulación y floculación, 2011 [fecha de consulta: 10 de octubre de 2023]. Disponible en: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf.
- (48) BAÑOS, A. [En línea]. ¿Qué nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?, 2018 [fecha de consulta: 6 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>.
- (49) COAYLA, B. y PEÑA, J. Influencia de la penca de tuna en la calidad del agua cruda de la PTAP Chen Chen - Moquegua 2021. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2022.
- (50) ANGULO, E., YAYA, J. y COAQUIRA, M. Uso de la "*Opuntia ficus-indica*", como agente natural parar el tratamiento de aguas, a nivel de laboratorio, UMA. Revista de Investigación Científica, 2020, 2(4), 57-64 pp.
- (51) BERNAOLA, M. Eficiencia del tratamiento fisicoquímico en la clarificación de la sanguaza del camal de Yerbateros para uso potencial como agua de riego, 2016. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2016.
- (52) VELÁSQUEZ, J. Coagulante a base de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el reuso de agua para riego de cultivos de hortalizas 2019. Memoria (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Tarapoto: Universidad Peruana Unión, 2019.

ANEXOS

Anexo A. Informe de resultados de laboratorio de coliformes termotolerantes (preprueba).



INFORME DE ENSAYO N° 1-0113/23

Pág: 1/1

Solicitante : Jhordan Roger Gonzales Aviles
 Rider Leonard Benites Mendoza
Domicilio legal : Calle Libertad s/n - Huari
 Calle Piños s/n anexo Piños - Yauyos
Proyecto : Influencia de la capacidad biocoagulativa del "opuntia ficus-indica" en la
 disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro
 Poblado de Huari, 2023
Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual doméstica
Procedencia de la muestra : Centro Poblado de Huari
Cantidad de muestras para el Ensayo : 01 muestra x 1000 mL
Forma de Presentación : 01 Frasco de plástico
Fecha de Recepción : 04/09/23
Fecha de Inicio del Ensayo : 04/09/23
Fecha de Término del Ensayo : 15/09/23
Fecha de Emisión de Informe : 15/09/23
N° de Cotización de Servicio :



MEDICIONES IN SITU

Código del cliente	COORDENADAS UTM		ALTITUD (m.sn.m)
	Norte	Este	
ARD-0	75123409	12777	3198

PARÁMETROS DE CAMPO

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
ARD-0	Temperatura	°C	16.30
	pH	Unidades de pH	6.80
	Conductividad	uS/cm	1700.00

CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
ARD-0	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000

• Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
 • El cliente renuncia al derecho de la urgencia
Método de Análisis:
 Microbiología: SAE WW-APHA-AWWA-WEF Part 9221, 23rd Ed. 2017; Microbiological: Multiple-Tube Fermentation Technique

Huancayo, 15 de Setiembre de 2023

GRUPO JHACC S.A.C

Ing. Henry R. Ochoa León
 CIP N° 194232
 JEFE DE LABORATORIO

"El Informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente Informe"
 "Prohíbida la reproducción total o parcial de este Informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC"
 "Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce."

LAA-01 Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
 www.grupojhacc.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-0115/23

Pág. 1/1

Solicitante : Jhordan Roger Gonzales Aviles
Rider Leonard Benites Mendoza

Domicilio legal : Calle Libertad s/n - Huari
Calle Piños s/n anexo Piños - Yauyos

Proyecto : Influencia de la capacidad biocoagulativa del "opuntia ficus-indica" en la disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari, 2023

Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual doméstica

Procedencia de la muestra : Agua Tratada

Cantidad de muestras para el Ensayo : 01 muestras x 1000 mL

Forma de Presentación : 18 Frascos de plastico

Fecha de Recepción : 04/09/23

Fecha de Inicio del Ensayo : 04/09/23

Fecha de Término del Ensayo : 15/09/23

Fecha de Emisión de Informe : 15/09/23

N° de Cotización de Servicio : 1500-000000-0000



CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
ARD-01	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-02	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-03	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	110000
ARD-04	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	110000
ARD-05	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-06	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-07	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	110000
ARD-08	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-09	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-10	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	110000
ARD-11	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-12	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	46000
ARD-13	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	46000
ARD-14	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	110000
ARD-15	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-16	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	110000
ARD-17	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	>110000
ARD-18	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	110000

* Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente

* El cliente renuncia al derecho de la denuncia

Método de Análisis:

Microbiología: SMEWW APHA AWWA-WEF Part 9221, 23rd Ed 2017. Microbiological: Multiple-Tube Fermentation Technique

Huancayo, 15 de Setiembre de 2023


GRUPO JHACC S.A.C
Ing. Henry J. Ochoa León
LABORATORIO

* El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe

* Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Rev 0

Anexo B. Cadena de custodia del muestreo.

		CADENA DE CUSTODIA																
Código Número de custodia: A&D		Solicitante Thordan Roger Gonzales Aviles			DNI: 169370144			Firma: <i>rd</i>										
Lugar de inspección:		Dirección: Centro Poblado de Huasi			Distrito: Huancayo			Provincia: Huancayo			Dpto: Junín							
Teléfono:		Proyecto: Influencia de la capacidad biocoagulación de "Opuntia ficus-indica" en la disminución de coliformes de los aguas residuales domésticos del centro poblado de Huasi																
Código LAB	Fecha de muestreo	Tipo de muestra (1)	N° de envases por punto de muestreo	Preservación					Análisis Requerido			Parámetros de campo			Coordenadas UTM		Observaciones	
				HCl	H2SO4	HNO3	NaOH	Otro:	Coliformes termotolerantes	T° (°C)	pH	C.E. (us/cm)	N	E	Altitud (m.s.n.m)			
MB-01	06-09-25		1								16.4	6.9	17.00	75123409	12333	5495		
MB-02	06-09-25		1								16.5	6.7	17.10	75123409	12333	5495		
MB-03	06-09-25		1								16.4	6.9	17.10	75123409	12333	5495		
MB-04	06-09-25		1								16.3	6.8	17.00	75123409	12333	5495		
MB-05	06-09-25		1								16.4	6.9	17.15	75123409	12333	5495		
MB-06	06-09-25		1								16.5	6.7	17.19	75123409	12333	5495		
MB-07	06-09-25		1								16.4	6.8	17.00	75123409	12333	5495		
MB-08	06-09-25		1								16.5	6.9	17.00	75123409	12333	5495		
MB-09	06-09-25		1								16.5	6.7	17.10	75123409	12333	5495		
MB-10	06-09-25		1								16.4	6.7	17.10	75123409	12333	5495		
Entregado:																		
Nombres y apellidos		Firma		Institución/empresa		Recibido:			Nombres y apellidos		Firma		Institución/empresa		Fecha		Hora	

(1) Superficial- de ríos (Aaup-R) . Agua superficial de Bofedales (Aaup-B). Agua subterránea – Alforamiento (Aaup-A). Agua superficial – de laguna (Aaup-L). Agua residual - Doméstico (AR-D). Agua residual – Minerio Metalúrgico (AR-M). Agua residual – Industrial (AR-I). Agua potable – tratada suministro doméstico (AP-Trt). Agua potable – reservorio o suministro doméstico (AP-Res)

(2) P: plástico; V: vidrio; E: estéril

Anexo C. Informe de resultados de laboratorio de coliformes termotolerantes (posprueba).



Página: 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1-0117/23

Solicitante : Jhordan Roger Gonzales Aviles
Rider Leonard Benites Mendoza

Domicilio legal : Calle Libertad s/n - Huan
Calle Piños s/n anexo Piños - Yauyos

Proyecto : Influencia de la capacidad biocoagulativa del "opuntia ficus-indica" en la
eliminación de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro
Poblado de Huan, 2023

Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual doméstica

Procedencia de la muestra : Agua Tratada

Cantidad de muestras para el Ensayo : 01 muestras x 1000 mL

Forma de Presentación : 02 Frascos de plastico

Fecha de Recepción : 27/09/23

Fecha de Inicio del Ensayo : 27/09/23

Fecha de Término del Ensayo : 29/09/23

Fecha de Emisión de Informe : 02/10/23

N° de Cotización de Servicio : _____

CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
ARD-01	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	46000
ARD-02	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	29000

• Lugar y condiciones ambientales del muestreo, indicado por el cliente
• El cliente renuncia al derecho de la discrepancia

Método de Análisis:
Microbiología: SM/WW-APHA-AWWA-WEP Part 9221, 23rd Ed.2017, Microbiological, Multiple-Tube Fermentation Technique

Huancayo, 02 de Octubre de 2023

GRUPO JHACC S.A.C.
Ing. Henry R. Ochoa León
CIP N° 136232
JEFE DE LABORATORIO

“El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.”
“Prohíbese la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC.”
“Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.”

LAA-01 Rev. 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
www.grupojhacc.com

Anexo D. Panel fotográfico del proceso de muestreo.



Toma de muestras



Determinación de parámetros de campo



Conservación y traslado de muestras



Determinación del caudal

Anexo E. Panel fotográfico del proceso de experimentación en laboratorio.



Pesado de coagulante



Medición del agua residual



Programación de la velocidad de agitación



Adición de coagulante



Adecuación del tiempo de sedimentación

Anexo F. Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Metodología	
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable dependiente		Método	Alcance
¿Qué influencia tendrá la capacidad biocoagulativa del “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ” en la disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari, 2023?	Determinar la influencia que tendrá la capacidad biocoagulativa del “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ” en la disminución de coliformes de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado de Huari, 2023.	La influencia que ejerce la dosis de “ <i>Opuntia ficus - indica</i> ” y la velocidad de agitación lenta en la disminución de CTE de las ARD	Disminución de coliformes.	Coliformes termotolerantes NMP/100ml.	Método general: Método científico. Método específico: Método hipotético-deductivo.	Nivel: Correlacional y explicativo. Tipo: Aplicativa basado en un enfoque cuantitativo.
Problemas específicos	Objetivos específicos	mediante el método de coagulación-floculación, es significativa.	Variables independientes		Diseño de la investigación	
• ¿De qué manera se obtendrá el coagulante natural del “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ”?	Determinar la obtención del coagulante natural de “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ”.		Velocidad de agitación.	Velocidades de 20, 30 y 40 RPM.	Experimental, apoyado mediante el diseño factorial completo aleatorizado 3 ² .	
• ¿Qué influencia tendrá la dosis de “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ” en la disminución de coliformes termotolerantes?	Determinar la influencia que tendrá la dosis de “ <i>Opuntia ficus-indica</i> ”, en la disminución de coliformes termotolerantes.		Dosificación de la penca de tuna.	Dosis de 100, 150 y 200 mg/L.	Población	Muestra
• ¿Qué influencia tendrá la velocidad de agitación lenta en la disminución de coliformes termotolerantes?	Determinar la influencia que tendrá la velocidad de agitación lenta en la disminución de coliformes termotolerantes.				Se considero como tal, a toda el ARD que genera el Centro Poblado de Huari; mismas que son vertidas de manera directa al río Chanchas.	19L de ARD del Centro Poblado de Huari. Se aplicó la técnica de muestreo no probabilístico y por conveniencia.
					Técnica de recolección de datos	Análisis e interpretación de resultados
					Como técnica se utilizó la observación y la experimentación. Adicionalmente, se empleó la técnica de coagulación-floculación a través del “Jar Test”.	Se utilizó el software Minitab 19 y el estadístico ANOVA.