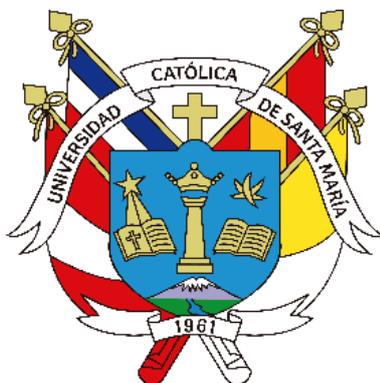


Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica



“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOFLOCULANTES OBTENIDOS A PARTIR DE *OPUNTIA FICUS INDICA*, *HYLOCEREUS UNDATUS*, *SOLANUM TUBEROSUM* Y MEZCLA DE ELLOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE AGUAS DESTINADAS PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAMEGUA – MOQUEGUA”.

Tesis presentada por los bachilleres:

Arenas Pacheco, Kristell del Rosario
Mamani Carrillo, Guadalupe de los Angeles

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniera Biotecnóloga

Asesor:

Mg. Ing. Tejada Meza, Kevin

Arequipa - Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA BIOTECNOLOGICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 11 de Mayo del 2023

Dictamen: 004240-C-EPIB-2023

Visto el borrador del expediente 004240, presentado por:

2015101212 - MAMANI CARRILLO GUADALUPE DE LOS ANGELES

2015100222 - ARENAS PACHECO KRISTELL DEL ROSARIO

Titulado:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOFLOCULANTES OBTENIDOS A PARTIR DE OPUNTIA FICUS INDICA, HYLOCEREUS UNDATUS, SOLANUM TUBEROSUM Y MEZCLA DE ELLOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE AGUAS DESTINADAS PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAMEGUA - MOQUEGUA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**42098888 - CORDOVA BARRIOS CINTHIA CAROL
DICTAMINADOR**



**41404327 - BARREDA DEL CARPIO JAIME ERNESTO
DICTAMINADOR**



**45945764 - YUGRA CONDORI MONICA MEYLIN
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

Dedicatoria de Kristell Arenas Pacheco

Dedico la presente tesis a Dios, quien me ha fortalecido, dado perseverancia y optimismo para no desistir en el camino, por haberme dado una maravillosa familia, en especial mis padres, Bertha y Roberto, quienes son mi motor y motivo para esforzarme día a día, quienes siempre confiaron en mi persona e inculcaron a valorar todo lo que tengo, ellos representan en mi vida ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

A mi hermana Sineydi, que desde pequeña me impulsó a creer en mis sueños, a no rendirme nunca a pesar de las adversidades y sobre todo por su amor incondicional.

A mis abuelos, Eladia y Gerardo por impulsarme a crecer como persona y profesionalmente, por su cariño y motivación constante.

A mis padrinos, Raúl y Andrea, que siempre me inculcaron a confiar en mí, a ser siempre humildes, sobre todo por sus sabios consejos y apoyo incondicional, siempre los tengo presente, un beso al cielo.

Dedicado a todos quienes nos ayudaron y apoyaron de manera directa o indirecta con este proyecto.

Dedicatoria de Guadalupe de los Angeles Mamani Carrillo

Dedico esta tesis a Dios, quien me dio mucha fortaleza para no rendirme, por darme paciencia cuando la perdía, por darme esperanza cuando no la tenía, gracias por estar presente en mi vida.

A mis padres, Evelyn y Miguel, fuentes de inspiración para seguir adelante y mejorar cada día, gracias por su apoyo incondicional, los amo mucho.

A mi hermana Gabriela, por cada ocurrencia para sacarme una sonrisa, gracias por todo.

A mis abuelos Ricardo y Marcia por su gran apoyo, perseverancia, por sus abrazos y sus grandes anécdotas.

En memoria de mi abuelo Antonio que desde muy niña me inculcó muchos valores, no estará presente físicamente, pero lo llevo conmigo siempre en mi mente, alma y corazón, un beso al cielo papito.

Gracias por su constante motivación y apoyo para ayudarme a concluir con este proyecto, como diría mi abuelo Antonio este es un peldaño más de la escalera.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos de todo corazón a Dios y a nuestras familias, por todos los logros que han sido resultado de su ayuda y perseverancia, por permitirnos seguir adelante a pesar de todos los obstáculos que hemos atravesado.

Agradecemos también a nuestro asesor de Tesis el Ing. Kevin Tejada Meza y a nuestra Co-Asesora la Ing. Pamela Manrique Pino por habernos brindado su apoyo y sus aportes de conocimientos, agradecerles también por su paciencia y por guiarnos a seguir en marcha con nuestra investigación.

Agradecemos también al señor Ricardo Mamani Huiza, por brindarnos todo su apoyo y por hacer posible esta investigación.

Para finalizar queremos agradecer también a nuestros amigos del laboratorio E-406 de la Universidad Católica de Santa María quienes nos levantaron el ánimo cuando las cosas se ponían complicadas, a todos nuestros amigos más cercanos, gracias por todo su apoyo y cariño, Dios los bendiga siempre.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXO	xvi
Lista de abreviatura	xvii
Resumen	xix
Abstract	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO I:.....	5
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Agua Potable	5
1.2 Fuentes de agua	5
1.2.1 Agua subterránea	5
1.2.2 Agua superficial	5
1.3 Proceso de potabilización del agua.....	5
1.3.1 Captación de agua	6
1.3.2 Pretratamiento	6
1.3.3 Coagulación.....	6
Mecanismo de desestabilización de los coloides o coagulación	8
a) Compresión de doble capa	8
b) Neutralización de carga	8
c) Atrapamiento de partículas en un precipitado	9
d) Adsorción y formación de puentes	9
1.3.4 Flocculación	9
Factores que influyen el proceso de coagulación-flocculación.....	9
a) Gradiente de velocidad.....	9
b) Temperatura.....	10
c) pH.....	10
d) Tamaño de la partícula	10
e) Tipo de coagulante	10
f) Dosis del coagulante.....	11

g)	Agitación o mezcla.....	11
h)	Tamaño de la partícula	11
1.3.5	Sedimentación	12
1.3.6	Filtración	13
1.3.7	Desinfección.....	13
1.3.8	Almacenamiento y distribución.....	13
1.4	Parámetros Fisicoquímicos del agua potable	15
1.4.1	Características Físicas	15
a)	Partículas coloidales	16
1.4.2	Características Químicas	19
a)	Dureza	19
b)	pH.....	19
c)	Metales pesados.....	19
d)	Alcalinidad	19
e)	Materia orgánica.....	20
f)	Conductividad eléctrica.....	20
g)	Carbonatos.....	20
1.5	Prueba de Jarras.....	20
1.5.1	Sistema de agitación.....	21
1.5.2	Efecto Tyndall	22
1.6	Tipos de coagulantes	23
1.6.1	Coagulantes químicos.....	23
1.6.2	Coagulantes naturales.....	25
	Características de los coagulantes naturales.....	32
1.7	Recurso Hídrico en Moquegua.....	32
1.8	Calidad de agua para consumo humano en la Localidad de Samegua Departamento de Moquegua 34	
1.9	Marco Legal	34
	CAPÍTULO II:	36
	2. METODOLOGÍA	36
2.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	36
2.2.	MATERIALES.....	37
2.3.	MÉTODOS.....	39
2.3.1.	Caracterización fisicoquímica y de metales totales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua.....	39
2.3.2	Obtención de biofloculantes a partir de Opuntia ficus indica, Hylocereus undatus y Solanum tuberosum.....	39

Preparación de soluciones estándar de sulfato de aluminio y biofloculantes a partir de <i>Opuntia ficus indica</i> , <i>Hylocereus undatus</i> y <i>Solanum tuberosum</i>	41
2.3.3 Evaluación del desempeño de los biofloculantes obtenidos y mezclas de estos en la remoción de turbidez, sólidos totales disueltos, pH, conductividad.....	43
a) Determinación de la dosis óptima del floculante químico	43
b) Determinación de la dosis óptima de biofloculantes mediante diseño de mezclas	44
2.4 Diagrama de flujo de actividades	50
CAPÍTULO III:.....	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	53
3.1. Caracterización fisicoquímica del agua para consumo humano del Distrito de Samegua -Av. Andrés Avelino Cáceres - Moquegua.....	53
3.2 Obtención de biofloculantes a partir de <i>Opuntia ficus indica</i> , <i>Hylocereus undatus</i> y <i>Solanum tuberosum</i>	56
3.2.1. Obtención de biofloculantes.....	56
3.2.2. Porcentaje de humedad.....	58
3.3 Evaluación del desempeño de los biofloculantes obtenidos y mezclas de estos en la remoción de turbidez, STD y CE.	59
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables e indicadores.	4
Tabla 2. Características de agitadores.	21
Tabla 3. Parámetros antes de la muestra de agua antes de la adición de los coagulantes.	39
Tabla 4. Dosis de biofloculante de <i>Opuntia ficus indica</i> , <i>Hylocereus undatus</i> , <i>Solanum tuberosum</i>	42
Tabla 5. Dosis del coagulante químico sulfato de aluminio.	44
Tabla 6. Pruebas por triplicado para la determinación de la mejor mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus indica</i>	48
Tabla 7. Pruebas para la determinación de la mejor mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	49
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos iniciales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua.	53
Tabla 9. Metales totales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua antes del tratamiento.	55
Tabla 10. Balance de materia de los biofloculantes <i>Opuntia ficus</i> , <i>Hylocereus undatus</i> y <i>Solanum tuberosum</i>	56
Tabla 11. Porcentaje de humedad contenido en el biofloculante.	58
Tabla 12. Porcentaje de remoción de NTU con sulfato de aluminio.	59
Tabla 13. Evaluación de STD aplicando el coagulante químico (sulfato de aluminio).	62
Tabla 14. Evaluación de CE con sulfato de aluminio.	64
Tabla 15. Porcentajes de remoción de NTU con <i>Opuntia ficus indica</i>	66
Tabla 16. Evaluación de STD aplicando <i>Opuntia ficus indica</i>	68
Tabla 17. Evaluación de la CE de <i>Opuntia ficus indica</i>	70
Tabla 18. Porcentaje de remoción de NTU con <i>Hylocereus undatus</i>	72
Tabla 19. Evaluación de STD aplicando <i>Hylocereus undatus</i>	75
Tabla 20. Evaluación de la CE de <i>Hylocereus undatus</i>	77
Tabla 21. Porcentajes de remoción de NTU con <i>Solanum tuberosum</i>	79
Tabla 22. Evaluación de STD aplicando <i>Solanum tuberosum</i>	82
Tabla 23. Evaluación de la CE de <i>Solanum tuberosum</i>	84
Tabla 24. Porcentaje de remoción de NTU de la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus indica</i>	86
Tabla 25. Evaluación de STD aplicando la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	

indica.	89
Tabla 26. Evaluación de CE en función a la mezcla de Solanum tuberosum y Opuntia ficus indica.	91
Tabla 27. Porcentaje de remoción de NTU de la mezcla de Solanum tuberosum y sulfato de aluminio por triplicado.	93
Tabla 28. Evaluación de STD aplicando la mezcla de Solanum tuberosum y sulfato de aluminio.	96
Tabla 29. Evaluación de CE en función a la mezcla de Solanum tuberosum y sulfato de aluminio.	98
Tabla 30. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua para consumo humano tratada con un biofloculante a base de Solanum tuberosum.	100
Tabla 31. Metales totales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua después del tratamiento.	102
Tabla 32. Pruebas de Normalidad para % remoción de turbidez para sulfato de aluminio. .	122
Tabla 33. Verificación de varianza Levene para % remoción de turbidez en sulfato de aluminio.	122
Tabla 34. Prueba de Kruskal-Wallis para % remoción de turbidez por dosis en sulfato de aluminio.	122
Tabla 35. Análisis de varianza para el % RT con Sulfato de Aluminio.	123
Tabla 36. Pruebas de Normalidad de STD para sulfato de aluminio.	123
Tabla 37. Verificación de varianza Levene de los STD para sulfato de aluminio.	123
Tabla 38. Prueba de Kruskal-Wallis para STD (mg/L) por dosis en sulfato de aluminio.	124
Tabla 39. Análisis de varianza para los STD con Sulfato de Aluminio.	124
Tabla 40. Pruebas de Normalidad de la conductividad para sulfato de aluminio.	125
Tabla 41. Verificación de varianza Levene para conductividad en sulfato de aluminio.	125
Tabla 42. Prueba de Kruskal-Wallis para la conductividad por dosis en sulfato de aluminio.	125
Tabla 43. Análisis de varianza para la CE con Sulfato de Aluminio.	126
Tabla 44. Pruebas de Normalidad para % remoción de turbidez para Opuntia ficus indica.	126
Tabla 45. Verificación de varianza Levene para % remoción de turbidez.	126
Tabla 46. Prueba de Kruskal-Wallis para el % remoción de turbidez de Opuntia ficus indica.	127
Tabla 47. Análisis de varianza para el % de RT de Opuntia ficus indica.	127
Tabla 48. Pruebas de Normalidad de STD para Opuntia ficus indica.	128

Tabla 49. Verificación de varianza Levene para STD de <i>Opuntia ficus indica</i>	128
Tabla 50. Análisis de varianza para STD de <i>Opuntia ficus indica</i>	128
Tabla 51. Pruebas de Normalidad de la conductividad para <i>Opuntia ficus indica</i>	129
Tabla 52. Verificación de varianza Levene para conductividad de <i>Opuntia ficus indica</i>	129
Tabla 53. Análisis de varianza para CE de <i>Opuntia ficus indica</i>	129
Tabla 54. Pruebas de Normalidad de % remoción de turbidez para <i>Hylocereus undatus</i>	130
Tabla 55. Verificación de varianza Levene para % remoción de turbidez de <i>Hylocereus undatus</i>	130
Tabla 56. Prueba de Kruskal-Wallis para % remoción de turbidez por dosis para <i>Hylocereus undatus</i>	130
Tabla 57. Análisis de varianza para % RT con <i>Hylocereus undatus</i>	131
Tabla 58. Pruebas de Normalidad para STD para <i>Hylocereus undatus</i>	131
Tabla 59. Verificación de Varianza Levene para STD de <i>Hylocereus undatus</i>	131
Tabla 60. Análisis de varianza para STD con <i>Hylocereus undatus</i>	132
Tabla 61. Pruebas de Normalidad para conductividad de <i>Hylocereus undatus</i>	132
Tabla 62. Verificación de varianza Levene para conductividad de <i>Hylocereus undatus</i>	132
Tabla 63. Prueba de Kruskal-Wallis para conductividad por dosis para <i>Hylocereus undatus</i>	133
Tabla 64. Análisis de varianza para la CE con <i>Hylocereus undatus</i>	133
Tabla 65. Pruebas de Normalidad para % remoción de turbidez para <i>Solanum tuberosum</i> . .	134
Tabla 66. Verificación de Varianza Levene para % remoción de turbidez de <i>Solanum tuberosum</i>	134
Tabla 67. Prueba de Kruskal-Wallis para % remoción de turbidez por dosis.....	134
Tabla 68. Análisis de varianza para % RT con <i>Solanum tuberosum</i>	135
Tabla 69. Pruebas de Normalidad para STD de <i>Solanum tuberosum</i>	135
Tabla 70. Verificación de Varianza Levene para STD de <i>Solanum tuberosum</i>	135
Tabla 71. Prueba de Kruskal-Wallis para STD por Dosis.....	136
Tabla 72. Análisis de varianza para STD con <i>Solanum tuberosum</i>	136
Tabla 73. Pruebas de Normalidad para la conductividad de <i>Solanum tuberosum</i>	137
Tabla 74. Verificación de Varianza Levene para conductividad de <i>Solanum tuberosum</i>	137
Tabla 75. Prueba de Kruskal-Wallis para conductividad por dosis de <i>Solanum tuberosum</i> . 137	
Tabla 76. Análisis de varianza para la conductividad con <i>Solanum tuberosum</i>	138
Tabla 77. Pruebas de Normalidad de la remoción de turbidez para la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	138

Tabla 78. Verificación de varianza Levene para los sólidos totales disueltos (mg/L) en la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	138
Tabla 79. Prueba de Kruskal-Wallis para el % remoción de turbidez en la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	139
Tabla 80. Análisis de varianza para % RT con una mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	139
Tabla 81. Pruebas de Normalidad de STD para la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	140
Tabla 82. Verificación de varianza Levene para los STD con una mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	140
Tabla 83. Análisis de varianza para STD con una mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	140
Tabla 84. Pruebas de Normalidad de la conductividad para la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	141
Tabla 85. Verificación de varianza Levene para la conductividad en la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	141
Tabla 86. Análisis de varianza para la CE con una mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	141
Tabla 87. Pruebas de Normalidad del % de remoción de turbidez para la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	142
Tabla 88. Verificación de varianza Levene para el % remoción de turbidez en la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	142
Tabla 89. Prueba de Kruskal-Wallis para el % remoción de turbidez en la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	142
Tabla 90. Análisis de varianza para el % RT con una mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	143
Tabla 91. Pruebas de Normalidad de los STD para la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	143
Tabla 92. Verificación de varianza Levene para los STD en la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	144
Tabla 93. Prueba de Kruskal-Wallis para los STD en la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	144
Tabla 94. Análisis de varianza para los STD con una mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	144

Tabla 95. Pruebas de Normalidad de la conductividad para la mezcla de Solanum tuberosum y sulfato de aluminio.....	145
Tabla 96. Verificación de varianza Levene para la conductividad en la mezcla Solanum tuberosum/sulfato de aluminio.....	145
Tabla 97. Análisis de varianza para la CE con una mezcla de Solanum tuberosum y sulfato de	146
Tabla 98. Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos.....	148
Tabla 99. Parámetros de calidad organoléptica.....	148
Tabla 100. Parámetros Químicos Inorgánicos y Orgánicos.....	149



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de la estabilidad de los coloides al agregar el coagulante.....	7
Figura 2. Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.....	8
Figura 3. Esquema del funcionamiento de los reactivos de coagulación y floculación.....	12
Figura 4. Proceso de potabilización del agua.....	14
Figura 5. Configuración esquemática de la doble capa eléctrica.....	17
Figura 6. Doble capa de una partícula coloidal.....	18
Figura 7. Equipo de jarras.....	21
Figura 8. Características de los agitadores.....	22
Figura 9. Cladodios de <i>Opuntia ficus indica</i> o tuna.....	28
Figura 10. Cladodios de <i>Opuntia ficus indica</i> con distintas formas.....	28
Figura 11. A) Sembrío de <i>Solanum tuberosum</i> B) Precosecha de <i>Solanum tuberosum</i>	30
Figura 12. Plantación comercial de pitahaya roja (<i>Hylocereus undatus</i>).....	31
Figura 13. Cladodio de pitahaya roja (<i>Hylocereus undatus</i>).....	31
Figura 14. Fuente del Río Tumulaca.....	33
Figura 15. Origen de la toma de muestra.....	36
Figura 16. Zona de toma de muestra.....	37
Figura 17. Dosificación del coagulante químico sulfato de aluminio.....	43
Figura 18. Dosificación del biofloculante <i>Opuntia ficus indica</i>	45
Figura 19. Dosificación del biofloculante <i>Hylocereus undatus</i>	46
Figura 20. Dosificación del biofloculante <i>Solanum tuberosum</i>	46
Figura 21. Mezcla de los biofloculantes <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus indica</i>	47
Figura 22. Mezcla del biofloculante <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.....	48
Figura 23. Diagrama de flujo de obtención de biofloculante (<i>Hylocereus undatus</i>).....	50
Figura 24. Diagrama de flujo de obtención de biofloculantes (<i>Solanum tuberosum</i>).....	51
Figura 25. Diagrama de flujo de obtención de biofloculantes (<i>Opuntia ficus indica</i>).....	52
Figura 26. Remoción de turbidez en función a diferentes dosis de sulfato de aluminio.....	61
Figura 27. STD en función a diferentes dosis de sulfato de aluminio.....	63
Figura 28. CE en función a dosis de sulfato de aluminio.....	65
Figura 29. Porcentaje de turbidez en función de diferentes dosis de <i>Opuntia ficus</i>	67
Figura 30. STD en función a diferentes dosis de <i>Opuntia ficus</i>	69
Figura 31. CE en función a dosis de <i>Opuntia ficus indica</i>	71
Figura 32. Porcentaje de la turbidez en función a dosis de <i>Hylocereus undatus</i>	73

Figura 33. STD en función a dosis de <i>Hylocereus undatus</i>	76
Figura 34. CE en función a dosis de <i>Hylocereus undatus</i>	78
Figura 35. Porcentaje de la turbidez a dosis de <i>Solanum tuberosum</i>	80
Figura 36. STD en función a dosis de <i>Solanum tuberosum</i>	83
Figura 37. Conductividad eléctrica en función a dosis de <i>Solanum tuberosum</i>	85
Figura 38. Porcentaje de remoción en función a diferentes dosis de la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	88
Figura 39. STD en función a dosis de la mezcla <i>Opuntia ficus</i> y <i>Solanum tuberosum</i>	90
Figura 40. CE en función a dosis de la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Opuntia ficus</i>	92
Figura 41. Remoción de turbidez en función a diferentes dosis de la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	95
Figura 42. STD en función a dosis de la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	97
Figura 43. CE en función a la mezcla de <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio.	99
Figura 44. Recolección de muestra de agua para consumo humano.	151
Figura 45. Almacenamiento de muestras a 4°C.	151
Figura 46. Recolección de Cladodios de <i>Opuntia ficus indica</i>	152
Figura 47. Recolección del follaje de <i>Hylocereus undatus</i>	152
Figura 48. Lavado y desinfección de muestras para la obtención de biofloculante.	153
Figura 49. Secado de muestras a Temperatura ambiente.	153
Figura 50. Corte de la corteza para obtener el mucílago en cuadrados de <i>Opuntia ficus indica</i>	154
Figura 51. Pesado después de los cortes en cuadrados de <i>Opuntia ficus indica</i>	155
Figura 52. Secado de <i>Opuntia ficus indica</i> en estufa.	155
Figura 53. Muestra de <i>Opuntia ficus indica</i> en el molino para obtención del polvo.	156
Figura 54. Tamizado de polvo de <i>Opuntia ficus indica</i>	156
Figura 55. Pesado del biofloculante obtenido a partir de <i>Opuntia ficus indica</i>	157
Figura 56. Almacenamiento del biofloculante <i>Opuntia ficus indica</i>	157
Figura 57. Pesado de follaje de <i>Hylocereus undatus</i>	158
Figura 58. Pelado de capa del follaje.	158
Figura 59. Pesado de <i>Hylocereus undatus</i> después del corte.	159
Figura 60. Secado del biofloculante <i>Hylocereus undatus</i> en la estufa.	159
Figura 61. Pesado de <i>Hylocereus undatus</i> después de ser sacado de la estufa.	160
Figura 62. Muestra de <i>Hylocereus undatus</i> en el molino para obtención del polvo.	160

Figura 63. Pesado del biofloculante obtenido a partir de *Hylocereus undatus*. 161

Figura 64. Obtención de las cáscaras de papa después del pelado y un secado a temperatura ambiente. 161

Figura 65. Pesado de las cáscaras de papa. 162

Figura 66. Secado del biofloculante *Solanum tuberosum* en la estufa. 162

Figura 67. Pesado de *Solanum tuberosum* después de ser retirado de la estufa. 162

Figura 68. Pulverización de las cáscaras de papa secadas en un molino eléctrico. 163

Figura 69. Pesado del biofloculante obtenido a partir de *Solanum tuberosum*..... 163



ÍNDICE DE ANEXO

Anexo I Cuadros estadísticos.....	122
Anexo II Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.....	148
Anexo III Galería fotográfica.....	151
Anexo IV. Informe de ensayos de la muestra de aguas destinadas para consumo humano en el Distrito de Samegua – Moquegua.	165
Anexo V. Resultados de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua - Moquegua antes del tratamiento con los biofloculantes.	166
Anexo VI. Resultado de Metales totales en la muestra de agua para consumo humano en el Distrito de Samegua – Moquegua antes del tratamiento con los biofloculantes.....	167
Anexo VII. Informe de ensayos de la muestra de aguas destinadas para consumo humano en el Distrito de Samegua – Moquegua con un tratamiento del biofloculante <i>Solanum tuberosum</i> (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio)	168
Anexo VIII. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua – Moquegua con tratamiento del biofloculante <i>Solanum tuberosum</i> (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio)	169
Anexo IX. Resultado de Metales totales en la muestra de agua para consumo humano en el Distrito de Samegua – Moquegua con un tratamiento de un biofloculante <i>Solanum tuberosum</i> (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio).	170
Anexo X. Resultados de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua – Moquegua con un tratamiento de un biofloculante <i>Solanum tuberosum</i> (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio).	171
Anexo XI. Informe de Ensayo N° 0169.2020.....	172
Anexo XII. Recibo de agua.	173

Lista de abreviatura

STD	Sólidos Totales Disueltos
NTU	Unidad Nefelométrica de Turbidez
ONU	Organización de las Naciones Unidas
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
GERESA	Gerencia Regional de Salud
MINSA	Ministerio de Salud
SA	sulfato de aluminio
OF	<i>Opuntia ficus</i>
HU	<i>Hylocereus undatus</i>
ST	<i>Solanum tuberosum</i>
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
Ci	Condición inicial de la muestra
Co	Condición final de la muestra
EDTA	Ácido Etilendiaminotetraacético
pH	Potencial de hidrógeno
Al	aluminio
D.S	Decreto Supremo
R.S.	Resolución Supremo
FTIR	Infrarrojos por transformada de Fourier
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO5	Demanda biológica de oxígeno
SS	Sólidos suspendidos
PPM	Parte por millón
CU	Unidades de color
ANA	Autoridad Nacional del agua
EDA	Enfermedades diarreicas agudas
PTAP	Planta de tratamiento de agua potable
MINAM	Ministerio del Ambiente
Cl	Cloro Libre
Ct	Cloro total
DPD	N, N Dietil parafenilendiamina
ICP-MS	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente
Wf	Masa final
R	Rendimiento
Wi	Masa inicial
mL	Mililitros
Rpm	Revolución por minuto
Hrs	Horas
Min	Minuto
RT	Rendimiento Total
SW	Shapiro Wilks
LEV	Levene
KW	Kruskal Wallis
ANOVA	Análisis de varianza
PAC	Policloruro de aluminio
DN	Distribución normal
DNN	Distribución no normal

NS	No Significativo
S	Significativo
DFPW	Fruta del dragón con pulpa color blanco
DFPP	Fruta del dragón con pulpa color púrpura
CT	conductividad
RT	Remoción de Turbidez
GI	Grados de libertad
CE	Conductividad eléctrica
FTIR	Espectrómetro infrarrojo transformado de Fourier



Resumen

En el presente trabajo de investigación se evaluó la eficiencia de biofloculantes obtenidos a partir de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus*, *Solanum tuberosum*, y mezcla de ellos, como biofloculantes naturales extraídos a partir de residuos agroindustriales. Se trabajó con una muestra de agua para consumo humano y se realizó una comparación con un coagulante químico, sulfato de aluminio, para ello, se determinaron los parámetros de: turbidez, sólidos totales disueltos (STD) y conductividad eléctrica (CE), inicialmente se determinó una turbidez inicial de 25 NTU, 134 mg/L de STD y una CE de 268 μ S/cm. Los resultados indicaron que al emplear el sulfato de aluminio a una dosis de 30 mg/L se alcanzó un porcentaje de remoción de turbidez del $98.08 \pm 0.54\%$, sin embargo se optó por una menor concentración (20 mg/L), ya que altas concentraciones de aluminio genera daños en la salud, así mismo, al aplicar el biofloculante a base de *Opuntia ficus indica*, se tuvo como mejor dosis 50 mg/L logrando una remoción de turbidez al $97.37 \pm 0.32\%$ de la muestra de agua, para el biofloculante a base de *Hylocereus undatus* se obtuvo un $85.04 \pm 3.37\%$ de remoción de turbidez al emplear una dosis de 300 mg/L y al aplicar *Solanum tuberosum* a una dosis de 10mg/L, se observó un porcentaje de remoción de turbidez al $97.85 \pm 0.73\%$, por otra parte, se realizaron las mezclas con los mejores biofloculantes que obtuvieron mayor porcentaje de remoción de turbidez (*Opuntia ficus indica* / *Solanum tuberosum*) y (*Solanum tuberosum* /sulfato de aluminio), en este caso la mejor mezcla fue de ambos biofloculantes a base de *Opuntia ficus* y *Solanum tuberosum*, a una dosis de 50mg/L/10 mg/L respectivamente, sin embargo esta mezcla alcanzó un porcentaje de remoción de turbidez del $91.63 \pm 0.55\%$ y la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio solamente alcanzó un porcentaje de remoción de turbidez de $88.29 \pm 1.10\%$. Se pudo determinar que el uso de biofloculantes a base de residuos son altamente eficientes en remoción de turbidez.

Palabras clave: biofloculantes, remoción, turbidez.

Abstract

In the present research work, it was evaluated the efficiency of biofloculants obtained from *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus*, *Solanum tuberosum*, and mixture thereof, as natural biofloculants extracted from agro-industrial waste, we worked with a sample of water for human consumption and made a comparison with a chemical coagulant, Aluminum Sulfate, for this, It was determined the parameters of: turbidity, total dissolved solids (STD) and electric conductivity (CE), initially an initial turbidity of 25 NTU was determined, 134 mg/L of STD and an initial CE of 268 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The results indicated that when using aluminum sulfate at a dose of 30 mg/L, a percentage of turbidity removal of $98.08 \pm 0.54\%$ was achieved, however, a lower concentration (20 mg/L) was chosen, since high concentrations of aluminum cause damage to health, likewise, when applying the biofloculant based on *Opuntia ficus indica*, the best dose was 50 mg/L, achieving turbidity removal $97.37 \pm 0.32\%$ of the sample of water, for the *Hylocereus undatus* based biofloculant, $85.04 \pm 3.37\%$ turbidity removal was obtained when using a dose of 300 mg/L and when applying *Solanum tuberosum* at doses of 10mg/L it was observed a percentage of turbidity removal of $97.85 \pm 0.73\%$ was obtained, on the other hand, the mixtures were made with the best biofloculants that obtained the highest percentage of turbidity removal (*Opuntia ficus indica* / *Solanum tuberosum*) and (*Solanum tuberosum* / aluminum sulfate), in this case, the best mixture was of both biofloculants based on *Opuntia ficus*. and *Solanum tuberosum*, at a dose of (50 mg/L/10/mg/L) respectively, however this mixture reached a percentage of turbidity removal of $91.63 \pm 0.55\%$ and the mixture by *Solanum tuberosum* and Aluminum Sulfate only reached a percentage of turbidity removal of $88.29 \pm 1.10\%$. It was possible to determine that the use of biofloculants based on residues are highly efficient in removing turbidity.

Keyword: Biofloculants, removal, turbidity.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, como en muchas partes del mundo, el agua potable ejerce un papel fundamental para el desarrollo y bienestar social. En el Perú, la SUNASS, es responsable de regular a sus ciudadanos la prestación de los servicios de las empresas de agua potable en niveles aceptables de calidad para el consumo, a un costo razonable y en cantidad suficiente, debido a que, el agua destinada para consumo humano debe ser de buena calidad y no dañina para la salud ^[1].

En la Provincia de Moquegua, Distrito de Samegua, se suministra agua para consumo humano a los 6,516 pobladores de Samegua ^[2], sin embargo el recurso hídrico representa una escasa disponibilidad y ausencia de las características necesarias de una buena potabilización del recurso, esto se puede evidenciar, en los últimos estudios realizados por la Gerencia Regional de Salud (GERESA) en el informe de ensayo 0169.2020 del programa de vigilancia de la calidad de agua para consumo humano, reportando valores de turbidez que sobrepasan los 5 NTU generado por posibles actividades antrópicas o descargas de contaminantes vertidos al río Tumulaca.

Según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano, establece que el valor permitido para turbidez es de 5 NTU ^[3], si este valor es superado puede ocasionar daños en la salud de las personas ^[3]. Así mismo el uso común de coagulantes químicos empleados en los tratamientos de coagulación/floculación como el sulfato de aluminio ayuda a reducir la turbidez pero en grandes cantidades incrementa el valor de la concentración de aluminio presente en el efluente, siendo potencial causante del síndrome de Alzheimer ^[4]. Por ello, para evitar el uso de coagulantes químicos que causan daños a la salud y medio ambiente se propone el uso de biofloculantes que contiene polímeros, éstos son complejos en su composición química, además, están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos y proteínas. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son usados en forma empírica para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios. ^[5] Los biofloculantes se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos ^[6].

Algunos autores han investigado las propiedades de los biofloculantes a partir de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y las cáscaras de *Solanum tuberosum*; en el Perú existe una gran cantidad de variedades de cactáceas que son usadas de forma empírica para la clarificación de aguas, el género *Opuntia* y *Hylocereus* son caracterizados por la producción de un hidocoloide, conocido como mucílago, que forma redes moleculares que retiene grandes cantidades de agua. ^[7] Por otra parte, los polímeros presentes en el almidón contenidos en *Solanum tuberosum* permite efectos positivos en la remoción de partículas sin alterar el agua después de haber sido tratada, estos biofloculantes son una alternativa viable para reemplazar el uso de coagulantes químicos ^[8,9].

Este estudio, se considera como un método sostenible que promueve el uso de desechos agroindustriales en los consumidores, negocios e industria ^[10] de diferentes localidades, así como la reducción y reciclaje de los desechos permitiendo el uso y avance de una economía circular para crear cadenas de producción, suministros más eficientes y una conciencia ambiental. Socialmente, se busca mejorar la calidad de agua de consumo humano del Distrito de Samegua–Moquegua, con el uso de biofloculantes, debido a que, tienen la capacidad de remoción de turbidez y sólidos totales disueltos ^[7,11,12]. Además, podrá ayudar a reducir riesgos de contraer enfermedades diarreicas y degenerativas ^[4] en los pobladores de Samegua y económicamente; el uso de biofloculantes permitirá obtener altas remociones con bajas dosis de sustancias de origen natural ^[7]. De igual manera, los pobladores de Samegua podrán realizar sus propios biofloculantes para el tratamiento de sus aguas aprovechando sus residuos agroindustriales ^[13,14].

El presente trabajo además de probar un método económico y viable para la obtención de biofloculantes, está destinado al tratamiento de aguas para consumo humano del Distrito de Samegua-Moquegua que tiene una problemática debido a la turbidez y tratamientos deficientes que posee. Con esto se pretende potenciar el tratamiento y hacer que el agua que consumen cumpla con las normativas nacionales vigentes.

HIPÓTESIS

Dado que *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum* tiene en su composición polímeros que neutralizan las cargas de las partículas suspendidas, es que se puede obtener biofloculantes de estas materias primas que remuevan altos porcentajes de turbidez y otros parámetros fisicoquímicos en el agua del Distrito de Samegua.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de biofloculantes obtenidos a partir de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus*, *Solanum tuberosum* y mezcla de ellos en la mejora de la calidad de aguas destinadas para consumo humano en el distrito de Samegua-Moquegua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicoquímicamente los parámetros de turbidez, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, sólidos totales, conductividad eléctrica y concentración de metales totales del agua para consumo humano del Distrito de Samegua -Av. Andrés Avelino Cáceres – Moquegua.
- Obtener biofloculantes a partir de residuos de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum*.
- Evaluar el desempeño de los biofloculantes obtenidos y sus mezclas en la remoción de turbidez, sólidos totales disueltos y conductividad de muestras de agua para consumo humano del Distrito de Samegua Av. Andrés Avelino Cáceres – Moquegua.

Tabla 1. Variables e indicadores.

Tipo de variable	Nombre de la variable	Indicador	Unidades	Niveles	
Obtención de biofloculantes	V. Independiente	Residuo biomásico	Tipo de residuo biomásico	-	<i>Opuntia ficus indica</i> <i>Hylocereus undatus</i> <i>Solanum tuberosum</i>
			Humedad	% H	
	V. Dependiente	Características de los biofloculantes	Rendimiento	% w/w	-
Evaluación del desempeño de los biofloculantes	V. Independiente	Biofloculante	Dosis de biofloculante	mg/L	SA (5-15-20-25-30-Control) OF (50-80-90-100-110-Control) HU (90-200-300-400-500-Control) ST (10-20-50-80-110-Control)
		Remoción de Turbidez	Turbidez (NTU)	% de remoción	-
	V. Dependiente	Remoción de STD	Sólidos totales disueltos	mg/L	-
		Conductividad	Conductividad	μS/cm	-

CAPÍTULO I:

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agua Potable

Se denomina agua potable, al agua que es apta para consumo humano, es decir, el agua que puede beberse de forma directa o usarse para preparar y/o lavar alimentos sin riesgo para la salud, sin embargo, el agua potable es una necesidad básica para cualquier persona, no solo porque es necesaria para subsistir sino también porque es necesaria para vivir de una forma digna reconocida a nivel mundial ^[15].

Según la Organización Mundial de la Salud, menciona que el agua es potable si sus componentes cumplen con la normativa, es decir, debe tener un contenido de minerales, sales y iones que estén dentro de los rangos aceptados y además no sean riesgosos para el consumidor si este se bebe el agua durante toda su vida ^[16].

1.2 Fuentes de agua

Según la procedencia, el agua se considera como agua subterránea y agua superficial.

1.2.1 Agua subterránea

Se considera agua subterránea al agua que se encuentra bajo la superficie del terreno, esta agua fluye a la superficie de forma natural a través de cauces fluviales, manantiales o bien directamente al mar ^[17].

1.2.2 Agua superficial

El agua superficial es la que se encuentra sobre la superficie de la tierra, como el agua dulce de riachuelos, ríos, arroyos, y agua salada del océano. El agua superficial es la parte más reconocible del ciclo del agua que consiste en el movimiento del agua hacia y desde la superficie de la Tierra ^[18].

1.3 Proceso de potabilización del agua

El tratamiento de potabilización del agua está determinado por una serie de etapas que se realizan con el objetivo de eliminar las impurezas, mientras más limpia es el agua cruda menos procesos se requerirá para potabilizarla generando de forma notoria un menor costo total del servicio ^[1].

La calidad de agua depende del tratamiento que recibe y de las fuentes de agua de donde se proviene, para convertir de agua cruda a agua potable se requiere una serie de procedimientos, principalmente un tratamiento de clarificación incluyendo procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección ^[1].

1.3.1 Captación de agua

Esta es la primera etapa del proceso de potabilización, donde el agua es extraída o captada de agua subterránea o fuentes naturales ^[19].

El agua usualmente es proveniente de los ríos, están expuestos a microorganismos y materia orgánica, requiriendo un proceso un poco más complejo para su tratamiento, además, el contenido de mineral, la turbiedad y el grado de contaminación, también puede variar según la época del año ^[20].

1.3.2 Pretratamiento

En esta etapa, se eliminan los sólidos de gran tamaño colocando una reja para proteger a la planta de tratamiento de objetos grandes (botellas, ramas, plástico, etc.) que puedan malograr o provocar obstrucciones en sus distintas unidades ^[21].

1.3.3 Coagulación

La coagulación es un proceso en el que se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas ^[22], así es como las partículas coloidales que se encuentran en suspensión se desestabilizan. En el proceso de coagulación se le adiciona un coagulante químico que ayuda a neutralizar las cargas, produciendo un colapso de la “nube de iones” que rodean los coloides con el fin de que puedan aglomerarse ^[23].

Los coagulantes químicos son los más utilizados en tratamientos de potabilización de agua, dentro de ellos se encuentran: sales de aluminio (policloruro de aluminio y sulfato) y sales de hierro (sulfato férrico y cloruro) ^[24-26].

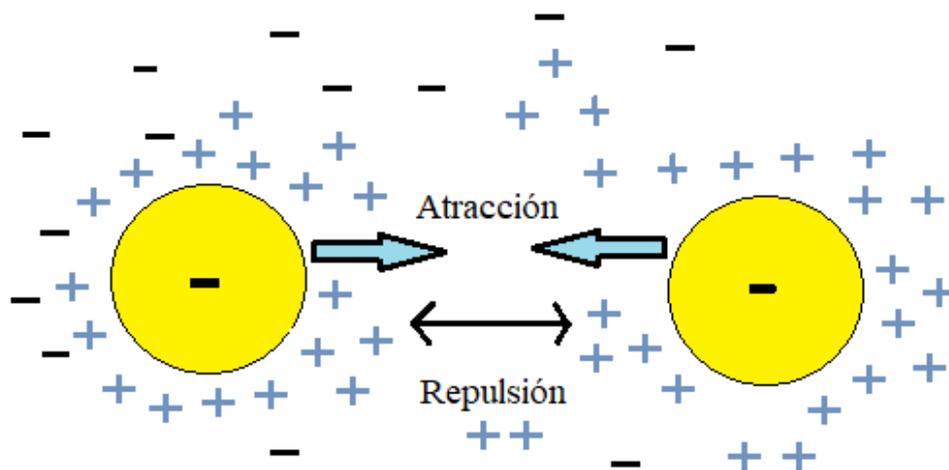


Figura 1. Representación de la estabilidad de los coloides al agregar el coagulante.

Nota: Adaptado de ^[22].

En la **Figura 1**, se observa la repulsión electrostática entre partículas coloidales, debido a que la repulsión sobrepasa las fuerzas de Van Der Waals lo que impide que puedan juntarse y precipiten.

Existen diferentes fuerzas de Van Der Waals, una de ellas es conocida como dispersión que son las más débiles y ocurren entre moléculas no polares, debido al movimiento de los electrones en los enlaces se originan cargas superficiales pequeñas, negativas y positivas, estas dan como resultado la atracción entre moléculas ^[27].

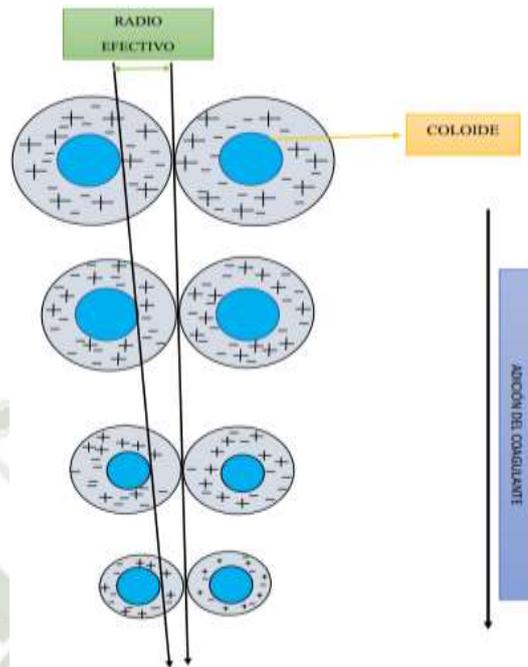


Figura 2. Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.

Nota: Adaptado de [23].

En la **Figura 2**, se muestra como los coagulantes neutralizan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide permitiendo que se aglomeren y formen flóculos, al inicio los flóculos son pequeños, pero a medida que se juntan van formando flóculos más grandes capaces de sedimentar.

Mecanismo de desestabilización de los coloides o coagulación

a) Compresión de doble capa

Cuando se presentan dos partículas semejantes, sus capas difusas se interrelacionan y forman una fuerza de repulsión, donde su potencial de repulsión está en relación con la distancia que los separa y al añadirle una sustancia con iones de cargas opuestas a las cargas de las partículas se produce la atracción en ellos y también produce su sedimentación por conglomerados, el componente que logra esta interacción se le denomina coagulante [1].

b) Neutralización de carga

Se basa en la formación de la primera capa a través de la interacción que forma las cargas iónicas negativas que contienen los coloides con las positivas que se ubican en el agua, el potencial que describe estas interacciones se le denomina “Potencial Zeta” [28].

c) Atrapamiento de partículas en un precipitado

El atrapamiento de partículas llamada “floc” se origina cuando se adiciona una cantidad suficiente coagulantes, generalmente sales de metales como cloruro férrico o sulfato de aluminio, el floc está constituido por moléculas de sulfato de aluminio o cloruro férrico donde para obtener una formación rápida del precipitado se requiere la presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales. Este fenómeno tiene una relación inversamente entre la turbiedad y la cantidad de coagulante necesaria, es decir, una concentración de partículas en suspensión requerirá de menor cantidad de coagulante [28].

d) Adsorción y formación de puentes

La molécula del polímero contiene grupos químicos que absorbe una partícula coloidal en una de sus estructuras, sin embargo, en los otros sitios que se encuentran libres pueden absorber otras partículas. Por ello se dice que las moléculas de los polímeros originan la formación del puente entre las partículas coloidales [28].

1.3.4 Floculación

El proceso de floculación consiste en que las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto con la adición de un coagulante, así el volumen del flóculo va aumentando para facilitar la precipitación, además, el mezclado lento favorece el contacto entre partículas desestabilizadas [23].

Los floculantes son polímeros que favorecen la formación de flóculos, actuando de puentes para captar partículas en suspensión [29].

Factores que influyen el proceso de coagulación-floculación

a) Gradiente de velocidad

Se requiere adecuar la gradiente de velocidad de manera decreciente debido a cuanto mayor es la gradiente de velocidad mayor será la velocidad de floculación, aunque a medida que los flóculos aumentan su tamaño, las fuerzas de cizallamiento los disgregan, ya que los coloides por presentar un pequeño tamaño son difíciles de sedimentar; para la conservación de los flóculos se requerirá de su tamaño, forma, compactación, así como del tamaño, forma y naturaleza de las partículas que los contienen [30].

La velocidad de agitación representa un indicador si la coagulación es completa, además es indispensable que la velocidad de mezcla sea de forma intensa y uniforme en toda la masa de agua que se va a tratar para obtener una mezcla correcta entre el coagulante y el agua, así como, la generación de la reacción química de neutralización de cargas ^[31].

b) Temperatura

La temperatura es un factor que influye en la velocidad de reacción y en el tiempo de formación de los flóculos, es decir, cuando las temperaturas son altas, la velocidad de reacción es rápida y el tiempo de formación de flóculos es menor, así mismo cuando las temperaturas sean bajas, la velocidad de reacción es lenta y el tiempo de formación de los flóculos es mayor ^[32]. Además, cuando se da una disminución de la temperatura del agua a tratar en un decantador se genera un aumento de la viscosidad ^[33].

c) pH

En los procesos de coagulación, el pH es un factor muy influyente, donde existe un rango de pH óptimo para cada agua y este pH depende del tipo de coagulante que se va a usar y de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. Si es que el proceso de coagulación se da fuera de un rango óptimo, se debe incrementar la cantidad o dosis de coagulante que se usará ^[34].

d) Tamaño de la partícula

El tamaño de la partícula está relacionado inversamente proporcional con la cantidad de coagulante, es decir, cuanto menor tamaño presente la partícula, mayor cantidad de coagulante se debe adicionar. Además, si la partícula presenta un mayor tamaño se dificultará la formación de los flóculos ^[32].

e) Tipo de coagulante

Para la selección de un coagulante adecuado para la clarificación de agua dependerá del sistema, disponibilidad y costo del coagulante ^[32].

f) Dosis del coagulante

La cantidad del reactivo químico o biofloculante se relaciona directamente en la eficiencia que se va a lograr en el proceso de coagulación y floculación, así como determinar el tipo de calidad que va a tener el agua clarificada ^[32].

Si se emplea una pequeña cantidad del coagulante, no se va a neutralizar las cargas de las partículas en suspensión y se dará una baja formación de flóculos, por ende, la turbiedad de la muestra de agua seguirá igual o puede elevarse, de igual manera sucederá de forma inversa al emplear dosis altas de coagulante donde se conseguirá una neutralización total de la carga con una elevada formación de flóculos. Por ello, desempeña un papel importante una dosis óptima del coagulante ya que de esto dependerá la obtención de una buena calidad de agua clarificada ^[32].

g) Agitación o mezcla

La agitación uniforme e intensa en toda la muestra de agua tratada es fundamental para la obtención de una coagulación completa en donde se haya dado una idónea mezcla entre el coagulante y el agua. Se considera tiempo inicial desde el momento de contacto y tiempo de efectividad desde el momento de la aparición de los primeros flóculos ^[33].

En el transcurso del proceso se genera la mezcla en dos etapas. En la primera etapa, denominada “mezcla rápida”, se presenta una mezcla en forma enérgica y de corta duración donde se dispersa en totalidad al coagulante dentro del volumen de la muestra de agua, mientras que en la segunda etapa se da la formación de flóculos y es denominada “mezcla lenta” ^[33].

h) Tamaño de la partícula

Para el proceso de coagulación-floculación existe un determinado tiempo que se obtiene mediante la prueba de jarras por ello se debe tener en cuenta el tiempo óptimo de permanencia del agua en el floculador para obtener buenos resultados ^[30]. En la primera etapa, la mezcla es de corta duración (60 segundos máximo) mientras que en la etapa de formación de agregados y enlaces es de forma lenta, se llegan a tomar tiempos que van desde 10-30 minutos ^[33].

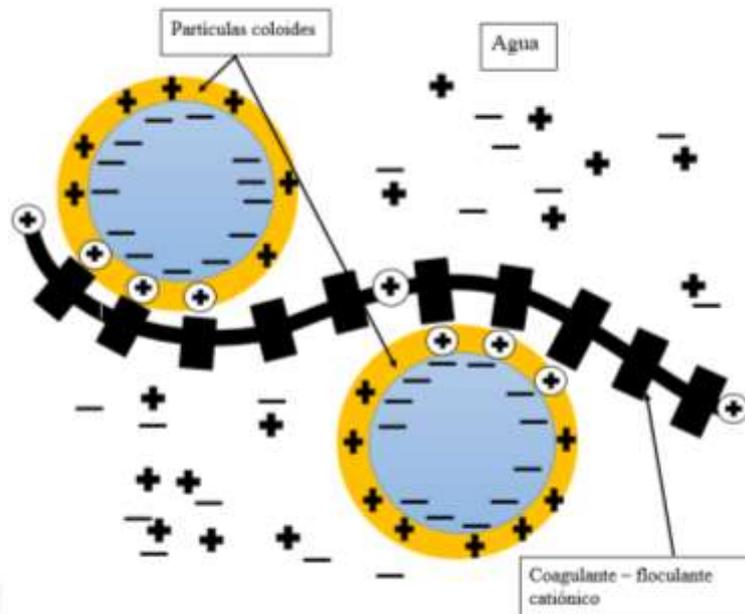


Figura 3. Esquema del funcionamiento de los reactivos de coagulación y floculación.

Nota: Adaptado de [35].

En la **Figura 3**, muestra la neutralización de las cargas cuando se añade el coagulante químico y se somete a agitación primero a una velocidad rápida, seguida de una agitación lenta y finalmente una sedimentación, la mezcla rápida permite romper los flóculos ya formados y la mezcla lenta permite que las partículas se aglomeren formando flóculos más grandes para que puedan precipitar [35].

1.3.5 *Sedimentación*

La sedimentación consta de una disgregación de partículas suspendidas en un medio acuoso generadas por la acción de la gravedad, donde su peso específico supera al del agua, este proceso es continuo, como el proceso de la coagulación y floculación, y se desarrolla en tanques de sedimentación primaria [32].

Durante la sedimentación los flóculos que son más pesados se quedarán en la base del tanque, las partículas que se conserven en el fondo del tanque quedarán como un manto grueso del lodo, por otra parte, el agua limpia de la superficie es llevada a una siguiente etapa del proceso de tratamiento. La sedimentación se caracteriza por ser un fenómeno netamente físico y por ser empleado en el tratamiento de aguas para la clarificación de estas [1].

1.3.6 Filtración

Consiste en llevar el agua que todavía presenta materia en suspensión por un medio filtrante, quedando retenidas las partículas en el medio filtrante, así mismo, todas las partículas no sedimentadas en el decantador son atrapadas en los filtros. En la potabilización de agua, los filtros más usados son los filtros rápidos en los que el agua ha recibido previamente un proceso de coagulación-floculación ^[36].

1.3.7 Desinfección

Este proceso representa el uso de diferentes productos, el más empleado, el cloro que sirve para eliminar bacterias y virus que pueden transmitir enfermedades ^[19].

Para un proceso efectivo, se requiere realizar un tratamiento previo para obtener el agua con un alto grado de pureza puesto que la apariencia de materia orgánica y de compuestos oxidables disminuye la acción de los desinfectantes ^[1].

1.3.8 Almacenamiento y distribución

En esta última fase del proceso de potabilización del agua, el agua es trasladada hacia estaciones de bombeo o reservorios, donde después será distribuida a los hogares a través de redes públicas de tuberías para que puedan ser utilizadas ^[37].

El tanque de almacenamiento cuenta con dos funciones: regular la presión adecuada en el sistema de distribución y la otra es almacenar la cantidad suficiente para satisfacer a la población ^[38].

Proceso de potabilización del agua

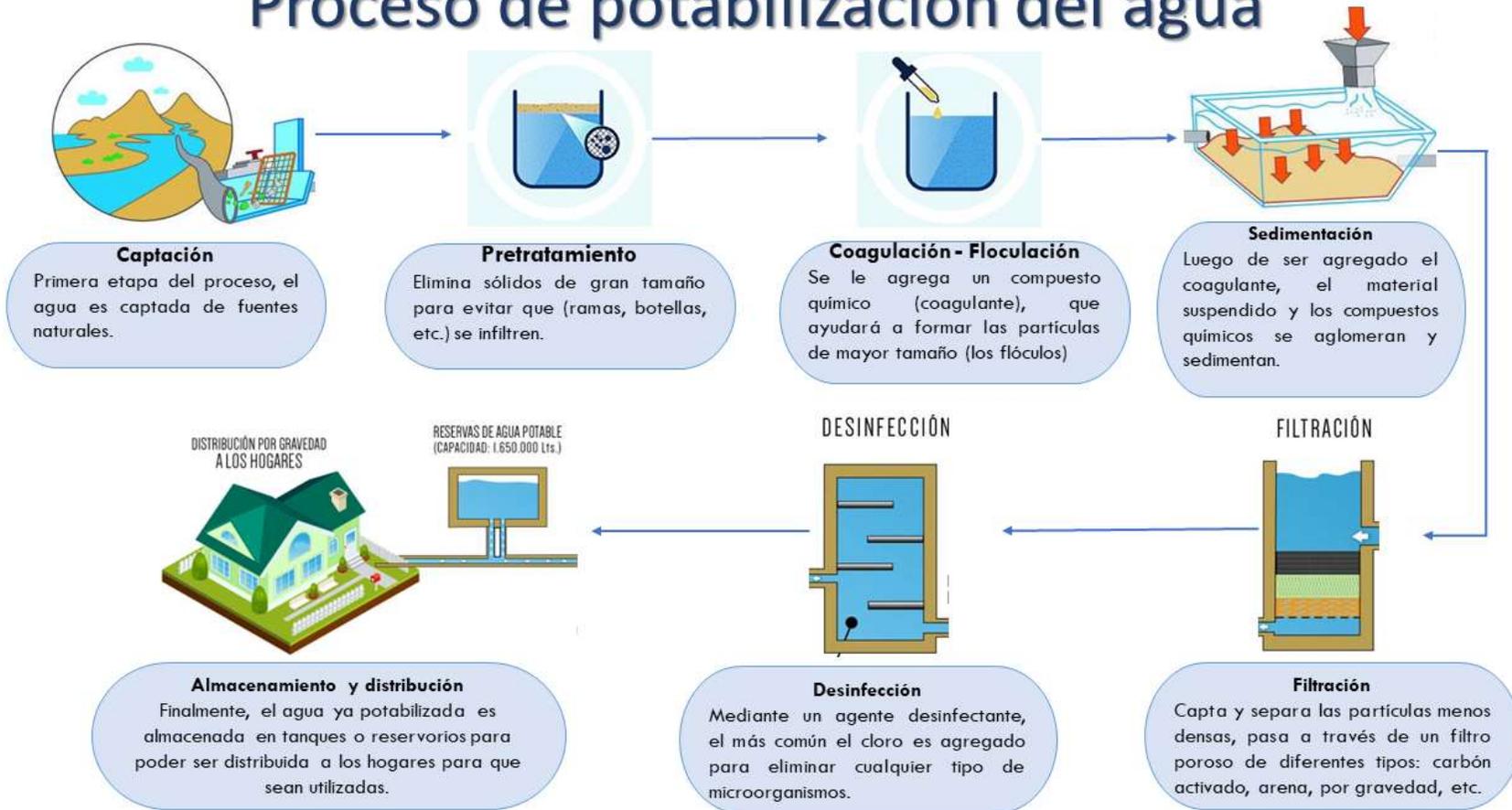


Figura 4. Proceso de potabilización del agua.

Nota: Adaptado de [39,40].

1.4 Parámetros Fisicoquímicos del agua potable

1.4.1 Características Físicas

a) Turbidez

La turbidez del agua es considerada como la medida de transparencia que pierde el agua por presentar: partículas en suspensión, materias coloidales, minerales, u orgánicos que se presentan principalmente en aguas superficiales ^[41]. La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Para las aguas que son potables, la turbidez no debe pasar los 5 NTU ^[42,43]. Para hacer la medición de turbidez se utilizan instrumentos como el turbidímetro o el nefelómetro ^[44].

En el agua, la turbidez es perjudicial ya que mantiene vivos a los microorganismos, además de estimular la reproducción de bacterias. Características como la turbiedad afectan la estética del agua, haciéndolo inaceptable para uso público ^[45].

b) Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales disueltos son el peso total de minerales disueltos en el agua ^[46], hacen referencia a la suma de las sales inorgánicas y orgánicas que se encuentra presente en el agua después de la evaporación y secado. Estos sólidos son la aglomeración de los sólidos sedimentados, sólidos suspendidos y sólidos filtrables ^[47], éstos no pasan a través de un filtro de 0.45 micras pero si pueden quedar como residuos cuando el agua se evapora ^[44].

c) Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos son sustancias orgánicas algunas de origen mineral (arcillas, arenas, entre otros) u orgánicos (producto de la descomposición de animales y plantas) ^[48], que tienden a flotar sobre el agua ^[49], también son responsables de la turbidez y el color de agua. El exceso de sólidos suspendidos puede ser peligroso para la vida acuática ya que puede obstruir órganos respiratorios ^[50].

a) Partículas coloidales

Coloide

Un coloide es también conocido como suspensión coloidal o dispersión coloidal, que consiste en una fase dispersa y otra dispersante donde la primera tiene partículas más grandes que la segunda (10^{-9} m hasta 10^{-6} m) ^[51], además, los coloides son denominados suspensiones debido a que su sedimentación natural es casi imposible, por ello una opción viable es aplicar procesos de floculación-coagulación para poder eliminarlos.

El comportamiento de un coloide se determina por sus propiedades eléctricas, ópticas, superficiales y cinéticas ^[52].

Afinidad de las partículas coloidales por el agua

Las partículas coloidales pueden ser hidrofóbicas, es decir no son rodeados por moléculas de agua, su dispersión dentro del agua requiere ayuda de medios químicos y físicos; también pueden ser hidrofílicos, éstos se dispersan de manera espontánea dentro del agua y son rodeados por moléculas de agua que previenen el contacto posterior entre estas partículas ^[23].

Carga eléctrica y doble capa

Las partículas coloidales se mueven continuamente en forma de zigzag, esto debido al choque de las moléculas del disolvente, denominado también movimiento Browniano ^[53], por lo general las partículas coloidales están cargadas negativamente debido a la presencia de grupos RCOO^- y OH^- , la carga negativa permite la repulsión entre las partículas, evitando que las partículas se vuelvan más grandes o que se aglomeren ^[48], esto causa que el agua se vea turbia y que tenga color.

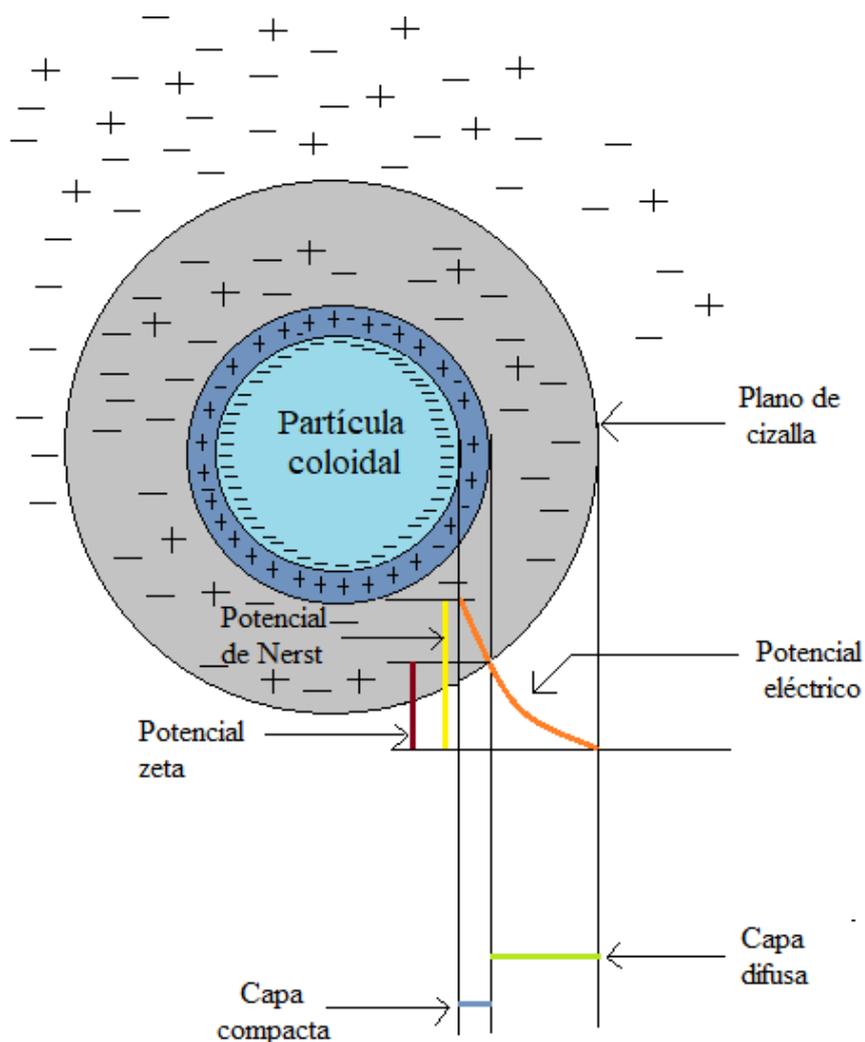


Figura 5. Configuración esquemática de la doble capa eléctrica.

Nota: Adaptado de ^[52].

En la **Figura 5**, se observa la representación esquemática de una partícula coloidal negativa con iones alrededor, como la superficie de la partícula es negativa, existe una aglomeración de iones positivos en la interfaz sólido-líquido que forman, junto a la carga negativa de la partícula coloidal, la doble capa eléctrica también conocida como capa compacta o comprimida

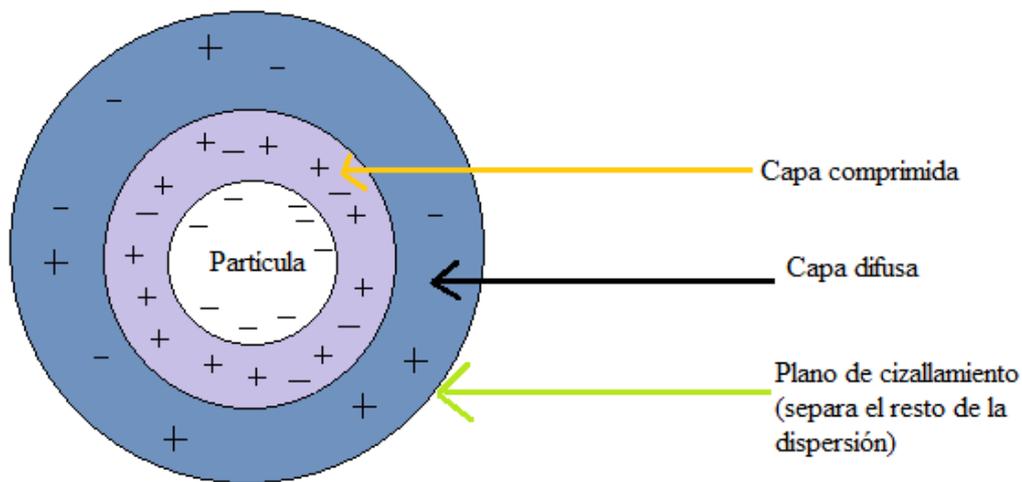


Figura 6. Doble capa de una partícula coloidal.

Nota: Adaptado de ^[52].

En la **Figura 6**, los iones que se adhieren débilmente forman la capa difusa que resulta de la atracción de iones positivos y de la repulsión electrostática de iones negativos (con la misma carga de la partícula), por lo tanto, existe un gradiente o potencial electrostático entre la solución y la superficie de la partícula, denominado Potencial Zeta ^[52].

El coloide cuenta con tres potenciales.

- Potencial de Nernst que se encuentra en la superficie coloidal, es un potencial creado por la presencia de un coloide en el agua, disminuye con la distancia, a partir de la presencia del coloide en el agua, donde es máximo.
- Potencial de Stern que se encuentra en la superficie interior de la doble capa, donde empieza la capa difusa.
- Potencial Zeta (Z), es el potencial medido en la superficie que encierra la capa fija de iones adherida a la partícula.

El Potencial Z, también se puede definir como una medida de estabilidad de la partícula, indicando el potencial que se necesita para penetrar la capa de iones circundantes en la partícula para desestabilizarla ^[53], por lo tanto, el potencial zeta es la potencia electrostática que existe entre la separación de las capas que rodean la partícula ^[52].

Estabilidad e inestabilidad de los coloides

- La estabilidad de los coloides depende de la carga eléctrica y la hidratación de las partículas, por lo tanto, las partículas coloidales son sometidas a dos grandes fuerzas.
- Fuerzas de atracción de Van der Waals: son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.
- Fuerzas de repulsión electrostáticas: son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras.

1.4.2 Características Químicas

a) Dureza

La dureza del agua es la concentración de iones de magnesio y calcio ^[54]. La dureza del agua se puede medir valorando una muestra de agua con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), es una sustancia que adhiere fuertemente los iones metálicos a excepción de metales alcalinos. ^[55]

b) pH

El pH es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una solución o una sustancia, mide la concentración de iones hidrógenos ^[56].

Las aguas superficiales tienen un rango de pH entre 6 a 8.5, y las aguas subterráneas pueden presentar valores más bajos que las superficiales, el pH se puede ajustar por neutralización ^[57].

c) Metales pesados

Se define como metales pesados a cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad alta y que sea tóxico en concentraciones pequeñas, se pueden encontrar de forma natural, en la superficie de la tierra, sin embargo, por actividades humanas puede convertirse en contaminantes de agua superficial, subterránea y diferentes ambientes acuáticos. ^[58,59]

d) Alcalinidad

Se define como una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, las mediciones se emplean para la interpretación y control de los procesos de tratamientos de agua ^[56,60,61].

e) Materia orgánica

Las aguas superficiales contienen materia orgánica compuesta por diferentes componentes: coloides, partículas macroscópicas o macromoléculas disueltas. Es importante la caracterización de la materia orgánica disuelta en el agua para establecer sus condiciones e índices de contaminación del agua para consumo humano ^[62,63].

f) Conductividad eléctrica

Es la capacidad que tiene una solución acuosa para transportar corriente eléctrica, esto depende de los iones disueltos en el agua, la concentración total, valencia, temperatura y movilidad a las que son ejecutadas las mediciones, a mayor concentración de iones disueltos, mayor conductividad ^[64,65].

La conductividad de las aguas contaminadas suele exceder y en aguas dulces son de 10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^[66].

g) Carbonatos

Los carbonatos aumentan la alcalinidad en el agua afectando el pH del sustrato, los carbonatos contienen iones disueltos como: sodio, calcio y magnesio, entre otros iones, la solubilidad de los iones de magnesio y calcio disminuye cuando la temperatura aumenta ^[67].

1.5 Prueba de Jarras

Es un método de representación de los procesos de coagulación y floculación realizados a nivel de laboratorio para obtener agua de buena calidad ^[33], promoviendo la eliminación de coloides en suspensión y materia orgánica que puede originar problemas de turbidez, color y olor. Según la **Figura 7**, la prueba de jarras consiste en realizar variaciones en las dosis del coagulante, empleando diversas velocidades de mezclado a pequeña escala para predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento ^[30]; los flóculos obtenidos con diversas dosis del coagulante dan como producto valores de turbiedad diferentes, sencillamente separables por el proceso de decantación ^[33].

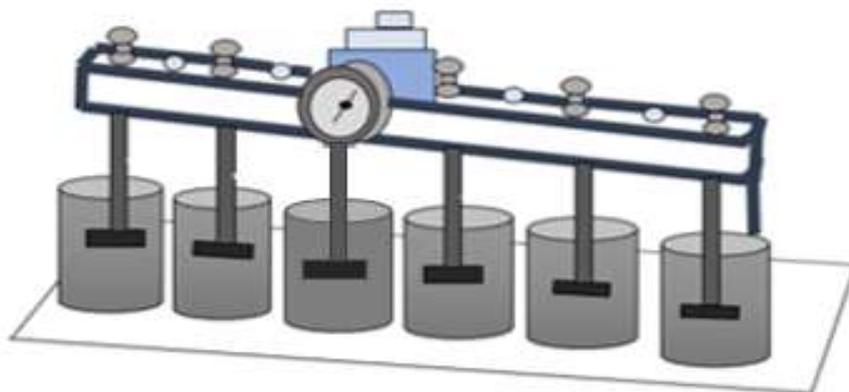


Figura 7. Equipo de jarras.

Nota: Adaptado de ^[68].

En la **Tabla 2**, se puede observar las diferentes características de agitadores, los diferentes diámetros, y número de paletas.

Tabla 2. Características de agitadores.

Tipo de Paleta	Número de Paleta	Diámetro (D-cm)	Área proyectada (a-cm)	Observaciones
Plana-1	2	7 y 6	17.5	a
Plana-2	2	7.2	28.8	b
Plana-3	2	7.2	18.4	c
Hélice	3	5.0	4.50	d
Doblada	2	5.0	2.80	d

1.5.1 Sistema de agitación

La intensidad de agitación representa una de las variables con mayor importancia en la prueba de jarras expresada como gradiente de movimiento del agua, estas tienen rodetes o paletas para obtener el efecto de agitación en el ensayo en forma mecánica o magnética, y pueden usarse una o más paletas ^[68].

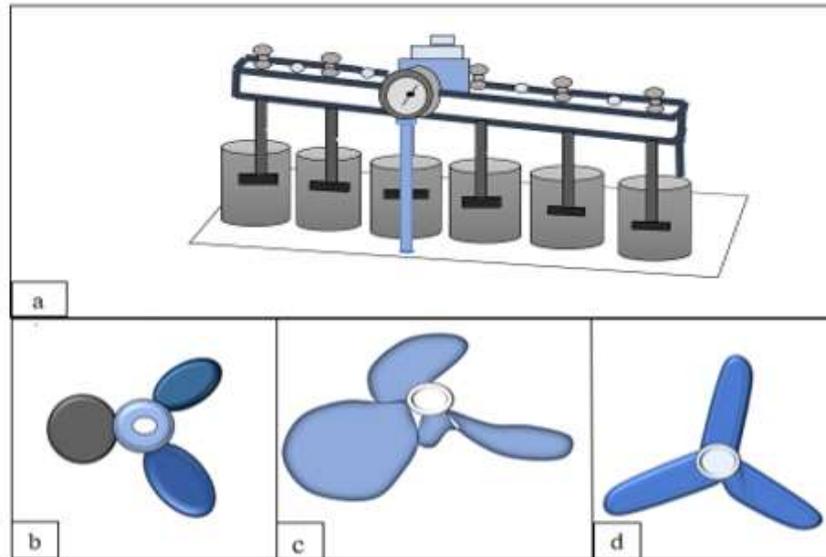


Figura 8. Características de los agitadores.

Nota: Adaptado de ^[68].

En la **Figura 8**, se muestra las diferentes características de agitadores.

- a) Utilizada en el modelo Phipps y Bird ^[68].
- b) Tipo impulsor marino ^[69] ^[69].
- c) Utilizada por Florida 1 ^[70].
- d) Utilizada por Florida 2 ^[70].

1.5.2 Efecto Tyndall

Explica y describe los fenómenos de dispersión de la luz de suspensiones coloidales en una disolución o en un gas, éstos son visibles porque refractan la luz; a primera vista las partículas no son visibles, el hecho de que se puedan dispersar o absorber la luz permite distinguirlas de manera visible ^[71].

1.6 Tipos de coagulantes

1.6.1 *Coagulantes químicos*

a) **Cloruro férrico**

Es un tipo de coagulante que presenta ventajas, entre la más destacadas: amplios rangos de pH y temperatura. Asimismo, origina iones trivalentes de mayor peso molecular, indispensables para el proceso de coagulación, otra de sus ventajas es que, al presentarse un menor pH, mayor es la producción de especies de alta carga favoreciendo la coagulación y disminuyendo, la cantidad de coagulante requerida^[72].

Cabe resaltar que los productos de hidrólisis de los coagulantes metálicos con carga positiva neutralizan cargas negativas de la materia orgánica y forma complejos insolubles. Por dichas ventajas mencionadas, el cloruro de férrico es considerado en el tratamiento de potabilización de aguas en diversas plantas de América y Europa ^[72].

b) **Policloruro de aluminio**

Actúa de manera diferente a los coagulantes convencionales en el proceso de clarificación por presentar características de especiación química y diferentes fases sólidas en las reacciones hidrolíticas, donde se observa que sus flóculos suelen ser estructuras tipo cadena y/o grupos de pequeñas esferas con menor tamaño a 25 mm^[73].

En comparación con el sulfato de aluminio sus flóculos suelen ser estructuras esponjosas y porosas con tamaño con un tamaño de 25 a 100 mm. La diferencia estructural entre ambos coagulantes hace que el policloruro de aluminio genere una menor turbiedad en suspensión que el sulfato de aluminio. Además, este coagulante posee una diversidad de especies hidrolíticas de Al (III) y presenta una estructura altamente estable ante hidrólisis posteriores, dando como resultado una mayor eficiencia de coagulación ^[73].

Entre sus ventajas destacan la baja producción de lodos y la baja dependencia de la temperatura y el pH. Además, se caracteriza por presentar alta eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos debido a ello se requiere una menor dosis.

Sin embargo, su eficacia se ve afectada por parámetros como las condiciones de operación específicas^[73].

c) Sulfato férrico

Es un coagulante de tratamiento de agua comercial empleando en aguas para consumo humano, aguas para riego tecnificado en industria y aguas residuales ^[74].

La coagulación se lleva a cabo con sulfato férrico a valores de pH muy bajos como 4.0, debido a que este tipo de coagulante se forma a valores de pH muy bajos. Además, es empleado en la producción de agua potable, tratamiento de aguas residuales, acondicionamiento de lodos y presenta alta eficiencia en la prevención de olores por su capacidad de reaccionar con sulfuros^[75].

d) Sulfato ferroso

Es un coagulante ácido granulado de color verde, su presentación está disponible en gránulos, cristales y bultos, al adicionarlo junto al agua residual, las moléculas de sulfato se disocian y se combinan con los coloides cargados negativamente y se encarga de neutralizar la parte de carga eléctrica de la parte coloidal, reduciendo el potencial Zeta en la unión de las partículas ^[76].

e) Sulfato de aluminio

Conocido como alumbre, se considera el coagulante estándar con mayor aplicación en el tratamiento de aguas con facilidad de producción y un bajo costo de comercialización, así mismo, presenta un rango óptimo de pH que oscila entre 5.5 y 8.0 unidades de pH, se disminuye las actividades necesarias para obtener un ajuste del pH del fluido lo que origina una disminución de costos de operación de la planta^[77].

La dosis del coagulante para aguas superficiales oscila normalmente de 5-50 mg/L. Su presentación del producto varía, se lo puede encontrar en polvo, granulado y en escamas ^[77]. Sin embargo, se reporta ciertas desventajas como afecta significativamente el pH del agua tratada, producción de grandes volúmenes de lodos que son difíciles de tratar, alto costo para adquirirlo ^[78]. Además, hay fuertes evidencia que vincula los coagulantes a base aluminio con el desarrollo de Alzheimer ^[4]. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es recomendable disminuir la concentración de sulfato de aluminio en 0.1 y 0.2 mg/ml para plantas destinadas al tratamiento de aguas con instalaciones grandes y pequeñas respectivamente ^[77].

1.6.2 *Coagulantes naturales*

a) *Moringa oleifera*

Es el único género de la familia *Moringaceae*, el crecimiento y su origen posiblemente es proveniente de la India, además, es la planta más empleada en el mundo, presenta un crecimiento rápido y llega a medir una altura de 10-12 metros ^[79].

Muller y Jahn son considerados los primeros investigadores en estudiar el uso de *M. oleifera* como coagulante natural. Desde entonces, se han llevado a cabo diversos estudios para optimizar su uso como tecnología de tratamiento de agua de bajo costo ^[78]. Los extractos acuosos de *Moringa* son proteínas catiónicas y su principal mecanismo de coagulación es la adsorción y neutralización de las cargas coloidales ^[80].

Las semillas de la *Moringa oleifera* son empleadas en la clarificación de agua por su capacidad coagulante, donde actúa capturando partículas en suspensión en el agua y generando que estas se unan entre sí y se sedimenten al fondo. Su forma de uso es artesanal, se basa en moler las semillas maduras y cubrirlas en algún tipo de tejido que eviten que se separen al introducirlas en el agua a purificar ^[79].

Según Mejía et al. ^[81], evaluaron la eficacia de la *Moringa oleifera* como agente coagulante en el tratamiento de aguas de alta turbidez, obteniendo un incremento en la eficacia de remoción con el uso de bajas concentraciones del coagulante. Sus resultados obtenidos fueron de 97.8%, 89.9%, de remoción de turbidez, SST, respectivamente, al emplear una dosis de 0.5 gr/L.

b) *Musa paradisiaca*

Musa paradisiaca L. pertenece a la familia de las Musáceas. Es una planta herbácea con un alto contenido de taninos presentes en su corteza, frutos y hojas, las partes de mayor cantidad de taninos empleados en el tratamiento de aguas residuales originando que ciertos contaminantes disueltos se adhieran en partículas más grandes para retirarlos mediante procesos de remoción de sólidos ^[82].

El plátano en sus diversas variedades se considera como coagulante potencial debido a sus polisacáridos que actúan como agente coagulante activo (concentraciones de almidón) y a sus características propias ^[83]. Además, tiende a mostrar un pH ligeramente alcalino. En el caso de su cáscara, cuando presenta una cáscara verde (inmaduro) el pH será alcalino o básico mientras que, al encontrarse en un estado maduro, presenta una cáscara amarilla y su pH disminuye por una posible reducción de los ácidos orgánicos conforme se lleva a cabo el proceso de maduración de la fruta al transforma los azúcares ^[84].

Según Villabona et al. ^[85], evaluaron la remoción de turbidez empleando el almidón de plátano obtenido por vía húmeda y básica en una muestra de agua sintética. La eficacia de la remoción de turbidez y color fue determinada en la prueba de jarras, donde se encontró que el almidón extraído por vía húmeda obtuvo un mayor nivel de reducción de turbidez con respecto al obtenido con NaOH, obteniendo una eficiencia del 94.6%; usando una dosis de 150 mg/L de coagulante y 40 rpm.

c) *Prunus pérsica*

Su nombre botánico *Prunus pérsica* se debió a que los persas comercializaban esta fruta por cada ruta que recorrían, generalmente por las montañas. Perteneció a la familia de las rosáceas, de origen chino ^[86].

Las semillas de durazno comprenden proteínas y almidón que son las características que le confieren la propiedad de coagulación. Dichas proteínas al presentarse de manera catiónica dificultan a las partículas coloidales de carga negativa generando la atracción unas con otras formando los coágulos y consiguiente a ello, los flóculos. La semilla de durazno tiene un porcentaje de humedad de 7%, aceites y grasas de 51.40%. Así mismo, retardan las reacciones químicas, microbiológicas, y la formación de enzimas contribuyendo así en el tratamiento de aguas, estas características las convierten en uno de los coagulantes naturales con mejores características y más empleados ^[87].

Según Barbarán et al. ^[88], estudiaron la remoción de turbidez con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus persica*) y palta (*Persea americana*) buscaron evaluar el turbidez y sólidos en suspensión antes y después de los tratamientos aplicados de coagulantes de semillas de durazno y palta. En los resultados se obtuvieron que al usar el

coagulante extraído de la semilla de durazno se obtenía mayor porcentaje de remoción del 92.95% a la concentración de 15 gr/l mientras que al usar la semilla de palta a 5 gr/L, su porcentaje de remoción fue menor con un 48,92%.

d) Manihot esculenta crant

Es originaria de América Latina, considerada como la segunda fuente de almidón en el mundo después del maíz, conocido como yuca. Es un tubérculo con un alto porcentaje de almidón, con características morfológicas, que tiene un follaje perenne con gran ramificación cuyas raíces son fibrosas ^[89].

El almidón de yuca es un polímero natural que puede ser aplicado en el proceso de coagulación-floculación, debido a que es capaz de producir segmentos de amilopectina que favorecen en la formación de flóculos ^[90].

Según Ortiz et al. ^[91], evaluaron la eficiencia de remoción de un agua residual empleando el polímero del almidón de yuca en combinación con otros coagulantes floculantes, obteniendo mayor eficiencia en combinación de 250 mgL⁻¹ de Al₂(SO₄)₃ y 750 mgL⁻¹ del almidón, con una turbiedad inicial de 24 NTU. Esta mezcla logró remover 75 % de la turbiedad obteniendo una turbiedad final de 6 NTU.

e) Opuntia ficus indica

Pertenece a la familia *Cactaceae*. Planta mucilaginoso cubierta con pequeñas espinas, llamada también “tuna” ^[92], fue denominada como primer nombre “higo de las Indias” que refiere a su origen las “Nuevas Indias” y es así de donde se origina su nombre científico *Opuntia ficus-indica* ^[93]. Crece generalmente en las regiones de la sierra del Perú en zonas áridas y pedregosas, sus paletas son usadas como medicina natural, las más abundantes son la tuna naranja (común) y la tuna morada (*Opuntia spp.*) ^[92].

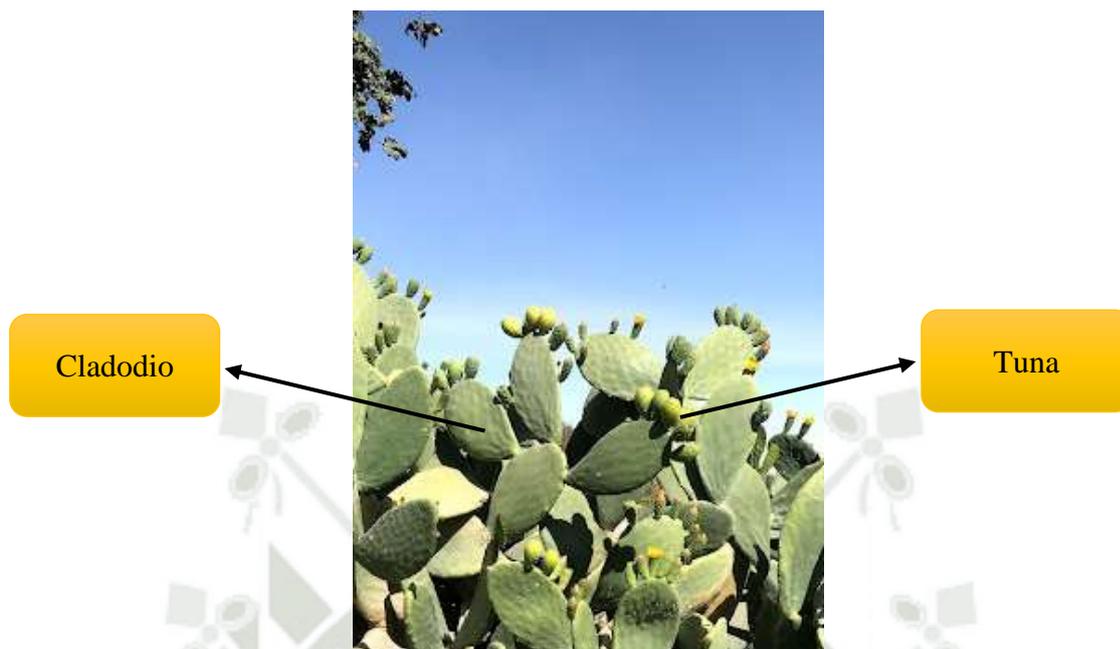


Figura 9. Cladodios de *Opuntia ficus indica* o tuna.

Según la **Figura 9**, nos muestra las partes de *Opuntia ficus*; en la parte superior se puede observar una variedad de cladodios empleados en la clarificación de agua. Investigaciones recientes indican que *Opuntia ficus* presenta una alta cantidad de antraquinonas y carbohidratos, concentrándose una mayor cantidad en sus tallos o cladodios, lo que favorece un gran aporte en el proceso de coagulación y floculación [92].



Figura 10. Cladodios de *Opuntia ficus indica* con distintas formas.

En la **Figura 10**, nos muestra a la izquierda cladodios de una penca amarilla y a la derecha cladodios de una penca blanca. Los componentes de *O. ficus* son caracterizados mediante la técnica de FTIR, donde se determina que el ácido poligalacturónico actúa como el agente activo del polvo obtenido de los cladodios de *O. ficus* el cual produce actividad de coagulación ^[92].

Diversos estudios establecen que el coagulante obtenido de las especies del género *Opuntia* pueden ser aplicados a nivel local como coagulante primario en la clarificación de aguas para consumo humano, pudiendo reducir más del 90% de turbidez. Este coagulante, se caracteriza por una buena formación de flóculos, mayor velocidad de sedimentación con poca producción de lodos y alta capacidad biodegradable por lo que representa una alternativa natural y de bajo coste para el tratamiento de las aguas turbias ^[94].

Según Borja et al. ^[95], investigaron el proceso de clarificación empleando *Opuntia ficus* como agente coagulante de un agua residual de una industria láctea, de la provincia de Pastaza, Ecuador donde se obtuvo una dosis óptima de 20 ml de solución de coagulante al 2% (400 ppm) y se encontraron eficiencias de remoción de 77,8% en turbidez.

f) *Solanum tuberosum*

Perteneciente al género del *Solanum* de la familia de las Solanáceas originaria de Sudamérica, es conocida como papa ^[96]. El almidón representa un componente fundamental de la papa permitiendo favorecer en el proceso de coagulación debido a que el almidón en comparación con otros carbohidratos es un producto heterogéneo, es decir, contiene en su estructura un monómero presentado glucosa que lo convierte en un carbohidrato altamente polimerizado. Por esta razón, establece enlaces con las partículas suspendidas del agua para formar coágulos que al ser sedimentados por acción de la gravedad reducen la turbidez y disminuyen el color del agua ^[96].

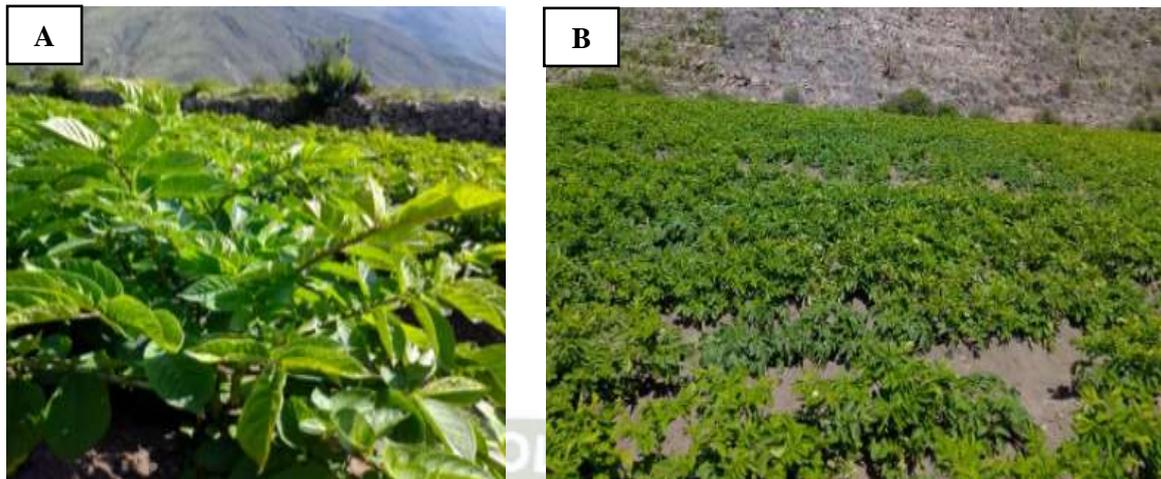


Figura 11. A) Sembrío de *Solanum tuberosum* B) Precosecha de *Solanum tuberosum*.

En la **Figura 11**, se observa en A; un sembrío de papas y en B, la precosecha de *Solanum tuberosum*, cuyo producto está compuesto por almidón, minerales y las vitaminas B11, B2, B6, A, C, H y K, y se caracteriza por presentar un gran contenido de humedad.

Según Camacho et al. ^[97], hicieron un estudio comparativo usando dos coagulantes sulfato de aluminio y cáscaras de papa en donde obtuvo que la muestra estudio presentó una turbidez inicial de 59,60 UNT con una mayor remoción de este parámetro al emplear una dosis de 40 mg/L de sulfato de aluminio (92,51%); mientras que el coagulante natural removió 81,32% al emplear una dosis de 10 mg/L. Se estableció que las dosis de los coagulantes, sulfato de aluminio y cáscara de papa, empleadas en esta investigación influyeron sobre la turbidez del agua de la ciénaga.

g) *Hylocereus undatus*

La fruta del dragón, pertenece a la familia *Cactaceae* conocida como pitaya o pitahaya con característica coagulante, es una planta nativa de México, América Central y América del Sur; pero ahora ampliamente cultivados como cultivos de frutas en el sudeste asiático, como en Vietnam, Taiwán, Filipinas ^[98]. Además, son abundantes en Malasia, dado que las frutas son comestibles y tiene una gran fuente de nutrientes como betacianinas, carbohidratos, caroteno, fibra cruda, grasa, flavonoide, glucosa, hierro, cobalamina, niacina, fenólico, fósforo, polifenol, proteína, piridoxina, tiamina, vitamina B1, vitamina B2, vitamina B3 y vitamina C. Consumir la fruta del dragón con regularidad puede ayudar al sistema digestivo, prevenir la diabetes y cáncer de colon así como puede reducir la presión arterial alta y niveles de colesterol ^[99].



Figura 12. Plantación comercial de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*).

En la **Figura 12**, se observa una planta comercial de pitahaya roja con abundante vegetación y también se observa los frutos de *Hylocereus undatus*.

El mucílago del dragón de frutas contiene ácidos galacturónicos, el predominante agente de coagulación activo, es un polisacárido que forma parte de los polímeros altamente naturales que junto con proteínas proporcionan sitios activos en la cadena polimérica para adsorción de partículas y fomentar el proceso de coagulación [98].



Figura 13. Cladodio de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*).

Nota: Tomado de [100].

En la **Figura 13**, se observa los cladodios de pitahaya, cuya determinación de la composición muestran una gran cantidad de mucílago empleado para la clarificación de agua.

Los coloides en el follaje de la fruta del Dragón se identificaron como catiónicos. Por lo tanto, adsorción y neutralización de carga se han propuesto como posible mecanismo de coagulación que conduce a la formación de flóculos ^[98].

Som et al. ^[101], en su estudio, determinaron las condiciones óptimas de funcionamiento del proceso de coagulación-floculación utilizando el coagulante a base de plantas en términos de pH y dosis, así mismo midió el porcentaje de eliminación de SS y turbidez usando el coagulante. Los valores de pH y las dosis utilizadas en el proceso de coagulación-floculación estaban en el rango de dos a diez y de 300 mg/L a 800 mg/L, respectivamente. Este estudio reveló que los porcentajes óptimos de remoción de SS y turbidez fueron 98,8% y 99,2%, respectivamente, a una dosis de coagulante de 300 mg/L.

Características de los coagulantes naturales

- a) Los extractos naturales derivados de semillas, hojas, cortezas de árboles y raíces forman coágulos o flóculos cuando son utilizados en el proceso de clarificación del tratamiento de aguas ^[102].
- b) Fácilmente accesibles y altamente efectivos para eliminar el color, la turbidez y los microorganismos patógenos como bacterias y virus de agua.
- c) Los coagulantes naturales pueden ser alternativas viables a polielectrolitos sintéticos, ya que son biodegradables y seguros para la salud humana.
- d) Estos coagulantes tienen la capacidad de trabajar a bajas concentraciones.
- e) Presentan un bajo costo.

1.7 Recurso Hídrico en Moquegua

La cuenca del río Moquegua abarca 616,22 Km² de la provincia de Ilo y 2988,53 Km² de la provincia de Mariscal Nieto, haciendo un total de 3604.75 km² ^[103].

El río Moquegua es producto por el aporte de tres ríos principales: Huracane, el Torata y el Tumilaca los cuales se van juntando a la altura de la ciudad de Moquegua generando el drenaje de una cuenca de 3604,75 km². Este río recorre aproximadamente 69km desde su origen hasta la desembocadura en el mar ^[103]. El sistema de los ríos de Moquegua es irregular, delimitado por una estación de abundancia y otra de escasez ^[103].

Según la **Figura 14** la captación de Yunguyo es una captación que se suministra del aporte superficial y subterráneo del río Tumilaca con predominio de nevados estacionales en la parte alta del río Ilo-Moquegua.

Las localidades de Samegua y Moquegua, se encuentran ubicadas dentro de la cuenca de la cuenca del río Tumilaca, este es el tributario principal del río Moquegua, inicia su recorrido con el nombre del río Asana, con dirección suroeste, para luego ir en dirección oeste hasta alcanzar el sector de Tumilaca, en este sector, el río es bastante profunda y sus laderas son empinadas, la corriente es torrenciosa y el volumen del río es normalmente pequeño con relación a la profundidad del valle.



Figura 14. Fuente del Río Tumilaca.

Nota: Tomado de ^[104].

La red hidrográfica tiene un rango aproximado de 8.5 km de longitud del río Tumilaca, 6.8 km del río Moquegua, y las quebradas tributarias por la margen izquierda de este río principal, entre ellas se tiene a las quebradas Panteón, Sausine, San Antonio y las torrenteras de corto recorrido del sector de Samegua ^[105]. La descarga anual del río Tumilaca es de 1,56 m³/seg, siendo los meses de enero a marzo los de mayor descarga, disminuyendo progresivamente en los meses de julio y setiembre. En esta población, las localidades que no presenten servicios de saneamiento adecuados están expuestos en constantes riesgo de salud. Las familias que usan agua que no es apta para el consumo humano se ponen en riesgo de adquirir enfermedades diarreicas Agudas (EDA) la parasitosis, el cólera, la hepatitis A, la tifoidea, entre otras ^[106].

1.8 Calidad de agua para consumo humano en la Localidad de Samegua Departamento de Moquegua

El agua para consumo humano destinada a la población de Samegua es proveniente de una planta de tratamiento parcial, la cual abastece de agua a todo el sector de Samegua parte baja, así como la calle Antigua y todos los sectores colindantes ^[107]. Actualmente, en el Distrito de Samegua el recurso hídrico potabilizado, es de escasa disponibilidad en cuanto a tiempo y volumen, debido a que la planta no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento de agua para consumo humano, por ello, la calidad de agua que consumen los pobladores no es la más adecuada, tiene grandes rasgos de turbiedad ^[108].

La Dirección de Salud Ambiental (DESA), mediante el informe de ensayo N°0169.2020 (ver **Anexo XI**), reportó resultados de un análisis de agua superficial al ingreso de la planta de tratamiento de Samegua, estos resultados se compararon con el D.S N°004-2017 MINAM, determinando que los niveles de turbidez exceden al de la normativa, por otra parte, también se analizó una muestra de agua para consumo humano, evaluando los resultados con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano establecidos en el D.S 031- 2010 SA; indicando que el valor de turbidez para cualquier tipo de agua destinada para consumo humano no debe exceder los 5 NTU; según los resultados se muestra valores superiores a 5 NTU.

1.9 Marco Legal

Según la Normativa, en los requisitos de calidad del agua para consumo humano, Artículo 59.- agua apta para el consumo humano, menciona que, cualquier tipo de agua que no ocasione riesgos en la salud y cumpla con el reglamento es apto para el consumo humano ^[3]. (Ver **Tabla 99** y **Tabla 100**) ^[109].

Según la Ley N°30588. Ley de reforma constitucional que reconoce el derecho de acceso al agua como derecho constitucional, incorpora el artículo 7, donde menciona que el estado debe reconocer el derecho de toda persona a acceder agua para consumo humano. El estado debe garantizar y priorizar este derecho de agua para consumo humano sobre otros usos, además, promover el manejo sostenible del agua y reconocerlo como un recurso natural y esencial ^[110].

En el Perú SUNASS es el regulador de agua potable, verifica el cumplimiento de obligaciones legales o técnicas de las entidades o actividades supervisadas, fija las tarifas por prestación de servicios de saneamiento, también dicta reglamentos y normas que regulen los procedimientos a su cargo referente a obligaciones, derechos e intereses de las entidades, además, puede imponer sanciones por incumplimiento como también puede resolver conflictos que surjan entre los usuarios y las empresas ^[111].

La OMS también establece que los sólidos totales disueltos (STD) no deben de sobrepasar los 1000 mgL⁻¹ al sobreexceder estos valores el agua no estaría apta para consumo humano ^[112,113].

El valor permitido del aluminio de acuerdo al reglamento de la calidad de agua para consumo humano, es de 0.2 mg/L para que no cause ningún daño en la salud humana ^[3].

Según DS N° 031-2010-SA. reglamento de la calidad del agua para consumo humano, para que se lleve a cabo una desinfección eficaz, el cloro libre residual recomendable es de 0.5 a 5 mg/L mientras que el valor permitido para el cloro total es menor o igual a 5 mg/L ^[3].

CAPÍTULO II:

2. METODOLOGÍA

2.1.LUGAR DE EJECUCIÓN

Para este estudio se consideró un punto de recolección donde se realizó la toma de muestra en un hogar del Distrito de Samegua, Andrés Avelino Cáceres, este se encuentra ubicado en el Departamento de Moquegua, Provincia Mariscal Nieto. Según la **Figura 16**, nos muestra el lugar de ejecución ubicado en las siguientes coordenadas: 17°11'14.54" S, 70°55'02.04" O, elevación 1486m, alt 1.49 m.s.n.m.



Figura 15. Origen de la toma de muestra.

Nota: Tomado de *Google Earth*.

Según la **Figura 15**, se observa que la muestra tomada proviene de una planta de tratamiento parcial ubicada en el Distrito de Samegua, el recorrido del agua pasa justo hasta el sector donde la muestra de agua fue tomada. Además, se puede ver en el **Anexo XII** la foto del recibo de agua, donde el usuario paga por su consumo.



Figura 16. Zona de toma de muestra

En la **Figura 16**, se observa en A) la casa ubicada en Av. Andrés Avelino Cáceres S/N, en el Distrito de Samegua – Moquegua, donde se recolectó 80 L de muestras de agua para consumo humano y en B) se observa que las muestras de agua recolectadas presentaban turbidez.

2.2.MATERIALES

2.2.1. *Material biológico*

- *Opuntia ficus indica.*
- *Solanum tuberosum.*
- *Hylocereus undatus.*

2.2.2. *Insumos y reactivos químicos*

- Agua destilada.
- sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ A pantera.

2.2.3. *Materiales de laboratorio*

Material de vidrio

- 6 beakers de 500 mL
- 1 pipeta de 0.5 mL
- 1 pipeta de 5 mL
- 1 pipeta de 10 mL

- 1 Fiola de 500 mL
- 1 propipeta
- 1 probeta 1 L
- 1 mortero
- 6 pliegos Papel filtro
- Cintas de pH
- 2 embudos cónicos
- 1 piseta

2.2.4. Aparatos y equipos

- Equipo de Jarras (MODELO)
- Estufa (BINDER)
- Molino eléctrico (NIMA NM-8300)
- Balanza analítica (ADVENTURER TM OHAUS)
- Turbidímetro (HACH- 2100Q)
- Multiparámetro (OFESION SKU MULTP-01)

2.2.5. Software

- Statgraphics Centurion XVI.I
- Microsoft Office Excel
- Microsoft Office Word
- Microsoft Power Point
- Origin Pro 8

2.2.6. Otros

- Botellas de vidrio
- Cuchillo
- Tabla de picar
- Gasas
- Tamizador

2.3. MÉTODOS

2.3.1. *Caracterización fisicoquímica y de metales totales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua.*

Se recolectaron 80 litros de agua para consumo humano durante el mes de febrero del 2022, almacenados en botellones de 7 litros y botellas de 3 litros (ver **Figura 44** y **Figura 45**) que fueron refrigerados a 4°C. La caracterización de la muestra fue llevada a cabo por el laboratorio donde se utilizaron los siguientes métodos de ensayo para la caracterización de la muestra de agua.

Tabla 3. Parámetros antes de la muestra de agua antes de la adición de los coagulantes.

Parámetros	Método	Referencia
Cloro Libre (Cl)	HACH – DPD CI L	[115]
Cloro total (Cl)	HACH – DPD CI T	[116]
Metales Totales por ICP-MS	EPA 6020B	[117]
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW 2540-D	[118]
Sólidos Totales	SMEWW 2540-B	[118]

En la **Tabla 3**, se puede observar cada metodología para los parámetros que se realizaron a la muestra antes y después del tratamiento.

2.3.2 *Obtención de biofloculantes a partir de Opuntia ficus indica, Hylocereus undatus y Solanum tuberosum*

Obtención de biofloculantes

Para la obtención de los biofloculantes se llevó a cabo la recolección de las materias primas y un pesado de la cantidad recolectada, en donde se trabajó con la penca de *Opuntia ficus indica* que fue obtenida de un árbol de tunas (ver **Figura 46**), se procedió a cortar y limpiar las paletas para que estén libres de espinas, mientras que, para la obtención del cladodio de *Hylocereus undatus* se trabajó con los esquejes del árbol de pitahaya (ver **Figura 47**), llevando a cabo el mismo proceso anterior, por otra parte, en *Solanum tuberosum* se recolectó las cáscaras de papa que fueron peladas y lavadas (ver **Figura 64**).

El lavado se realizó con hipoclorito de sodio al 10% y luego con agua destilada con el fin de la eliminación de impurezas (ver **Figura 48**). Después del lavado, las materias primas se dejaron secar a temperatura ambiente (ver **Figura 49 y Figura 64**) ya secadas, se pesaron para ver la masa del biofloculante (ver **Figura 51 y Figura 57**). Posteriormente se procedió a pelarlas y guardar los residuos (ver **Figura 58**), en el caso de *Solanum tuberosum* se utilizó la cáscara, en *Opuntia ficus indica* la pulpa del cladodio y en *Hylocereus undatus* la pulpa del esqueje, estas fueron cortadas en cuadrados pequeños (ver **Figura 50**), seguidamente se pesó cada muestra de los biofloculantes para determinar su masa inicial (ver **Figura 51, Figura 59 y Figura 65**), terminado el pesado se colocó las muestras en una estufa, para la pulpa del cladodio de *Opuntia ficus indica* a 60 °C por 48hrs (ver **Figura 52**), en el caso de la pulpa del cladodio de *Hylocereus undatus* a 50°C por 72 hrs (ver **Figura 60 y figura 61**), y las cáscaras de *Solanum tuberosum* a 100 °C por 24 hrs (ver **Figura 66**), ya retiradas de la estufa se procedió a pesar las muestras (ver **Figura 63, Figura 67 y Figura 69**) y seguidamente fueron trituradas con ayuda de un pequeño molino eléctrico (ver **Figura 53, Figura 62 y Figura 68**) hasta obtener un polvo que fue tamizado a través de un tamiz (ver **Figura 54**), esto con el fin de obtener un polvo fino. Finalmente, se pesó la cantidad de polvo obtenido (ver **Figura 55, Figura 63 y Figura 69**) y se almacenó a 4°C (ver **Figura 56**).

a) Cálculo del contenido de humedad del biofloculante

Para determinar el contenido de humedad del biofloculante obtenido después del secado y tamizado de la pulpa se usó la **Ecuación 1** empleada por Choez et al ^[32]:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{M_i h - M_f s}{M_f s} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

M_{ih} : masa inicial de la pulpa sin secar

M_{fs} : masa final de la pulpa seca masa inicial de la pulpa sin secar

b) Cálculo del rendimiento de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum* para la obtención de biofloculantes

Para determinar el rendimiento de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus*, *Solanum tuberosum* para la obtención de biofloculantes se utilizó la **Ecuación 2** empleada por Adjeroud et al. ^[119]:

$$\%R = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

% R: rendimiento.

W_f : masa final de la pulpa y/o cáscara en polvo.

W_i : masa inicial de la pulpa y/o cáscara sin secar.

Preparación de soluciones estándar de sulfato de aluminio y biofloculantes a partir de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum*

a) Preparación de la solución estándar de sulfato de aluminio

Se pesó 5 g de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y se adicionó en 500 ml de agua destilada. Dicha suspensión se mezcló con movimientos continuos en forma circular.

b) Preparación de soluciones estándar de los biofloculantes *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum*

Se preparó soluciones estándar con el polvo obtenido de cada biofloculante, se pesó 5g del polvo del biofloculante. Luego, el polvo pesado se colocó en una fiola de 500 ml, se enrazó con agua destilada y se agitó con movimientos circulares hasta lograr una mezcla homogénea. Para finalizar, se llevó a cabo una filtración empleando una gasa para evitar el paso de partículas. Este procedimiento se realizó para cada biofloculante previo a la prueba de jarras.

En la **Tabla 4**, se indica el volumen de cada biofloculante utilizado (mL) en combinación con su respectivo volumen de agua (mL) que en conjunto llegan a un volumen total de 500 mL de solución acuosa por cada dosis del biofloculante.

Tabla 4. Dosis de biofloculante de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus*, *Solanum tuberosum*.

Nombre del biofloculante	Dosis del biofloculante (mg/L)	biofloculante (mL)	Muestra de agua (mL)
<i>Opuntia ficus</i>	Control	0	500
	50	2.5	497.5
	80	4	496
	90	4.5	495.5
	100	5	495
	110	5.5	494.5
	<i>Hylocereus undatus</i>	Control	0
90		4.5	495.5
200		10	490
300		15	485
400		20	480
500		25	475
<i>Solanum tuberosum</i>		Control	0
	10	0.5	499.5
	20	1	499
	50	2.5	497.5
	80	4	496
	110	5.5	494.5

2.3.3 Evaluación del desempeño de los biofloculantes obtenidos y mezclas de estos en la remoción de turbidez, sólidos totales disueltos, pH, conductividad

a) Determinación de la dosis óptima del floculante químico

Para la determinación de la dosis óptima del floculante químico se evaluó la remoción de turbidez (NTU), sólidos totales disueltos (STD), conductividad, trabajando con un total de 6 tratamientos con tres repeticiones siendo un total de 18 ensayos y en cada tratamiento se aplicó diferentes dosis de sulfato de aluminio 5, 15, 20, 25 y 30 mg/L disueltos en la muestra de agua estudio detalladas en la **Figura 17**.

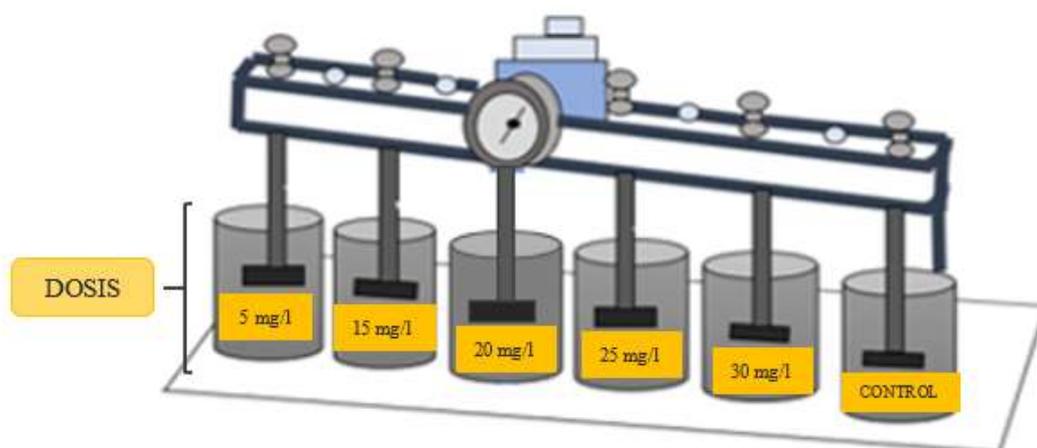


Figura 17. Dosificación del coagulante químico sulfato de aluminio.

El proceso consistió en emplear un equipo de jarras de 6 beakers de 500 ml de capacidad, donde se colocó la muestra de agua para consumo humano con las mezclas del floculante químico detalladas en la **Tabla 5**.

En cada beaker, se adicionó la muestra de agua y diferentes alícuotas de la solución estándar que contienen el polvo obtenido del coagulante químico, dejando en reacción a 120 rpm durante un minuto (mezcla rápida) y 30 rpm durante 20 minutos (mezcla lenta). Posteriormente se dejó sedimentar por un tiempo constante de 24 hrs. Al culminar se midió los parámetros mencionados inicialmente y se realizó el cálculo de porcentaje de remoción según la **Ecuación 3**.

Tabla 5. Dosis del coagulante químico sulfato de aluminio.

Dosis de coagulante (mg/L)	Coagulante químico (mL)	Muestra de agua (mL)
5	0.25	499.75
15	0.75	499.25
20	1	499
25	1.25	498.75
30	1.5	498.5

En la **Tabla 5**, muestra la preparación de la solución estándar del sulfato de aluminio con dosis óptimas para el proceso, cada mezcla estará compuesta por dos componentes según sea el caso haciendo en todas ellas la composición total del 100% w/w, es decir, mezclando un volumen del coagulante químico con un volumen de la muestra de agua se da un volumen total de 500 ml por cada dosis del coagulante, estas preparaciones permitirán su evaluación en el equipo de jarras.

b) Determinación de la dosis óptima de biofloculantes mediante diseño de mezclas

Para la determinación de la dosis óptima de los biofloculantes en los parámetros evaluados: remoción de turbidez (NTU), STD, CE, se trabajó con un diseño experimental de bloques completos al azar 6 x 3 para tres componentes: *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum*, con 6 tratamientos por cada biofloculante siendo un total de 18 ensayos por triplicado.

Así mismo, para la evaluación de la eficiencia de remoción y variabilidad de los parámetros analizados de los biofloculantes, se empleó un equipo de jarras, método más utilizado a escala laboratorio como simulador del proceso coagulación-floculación ^[120].

c) Determinación de dosis óptima de *Opuntia ficus indica*

En la **Figura 18**, se observa la dosificación de *Opuntia ficus indica* (50mg/L, 80mg/L, 90mg/L, 100mg/L, 110mg/L y el control), este procedimiento se realizó por triplicado, con el fin de determinar la dosis óptima, fue sometido a agitación, 120 rpm durante 1 min (mezcla rápida), 30 rpm por 20 min (mezcla lenta) y se dejó sedimentar durante 24 hrs.

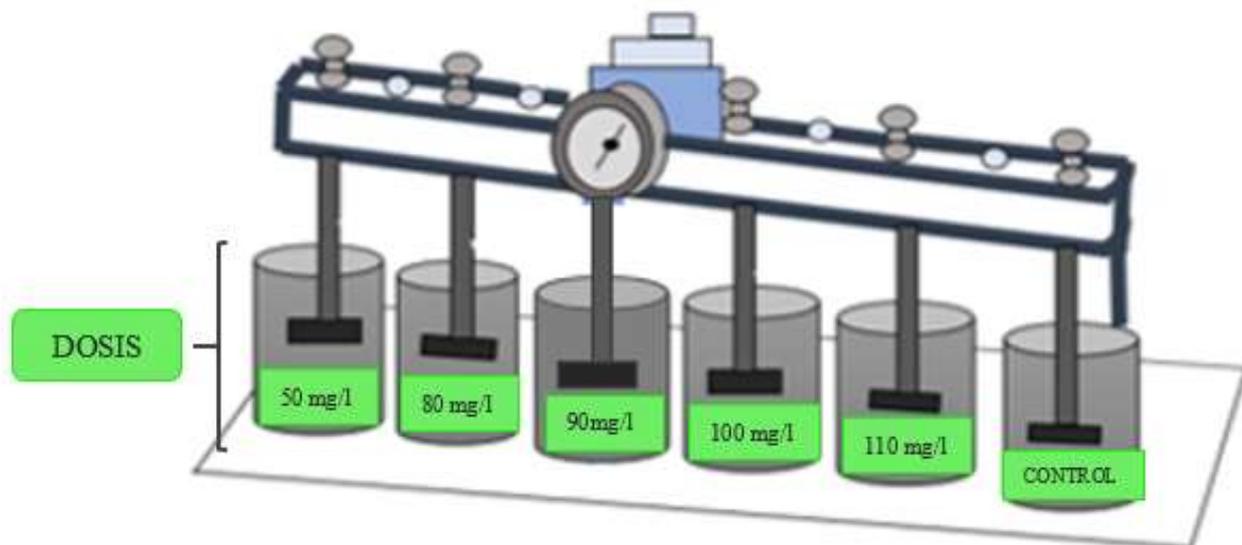


Figura 18. Dosificación del biofloculante *Opuntia ficus indica*.

d) Determinación de dosis óptima de *Hylocereus undatus*.

Se puede observar en la **Figura 19**, la dosificación de *Hylocereus undatus* (90mg/L, 200mg/L, 300mg/L, 400mg/L, 500mg/L y el control) este procedimiento se realizó por triplicado, teniendo en cuenta el volumen del beaker que fue de 500ml, luego fue sometido a agitación, 100 rpm durante 1 min (mezcla rápida), 40 rpm por 25 min (mezcla lenta) y se dejó sedimentar durante un periodo de 24 hrs.

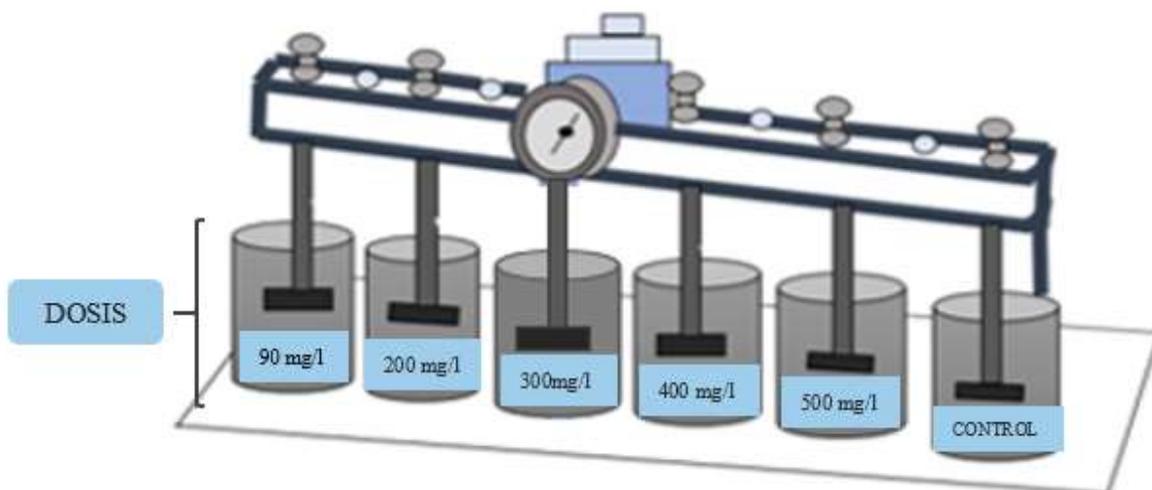


Figura 19. Dosificación del biofloculante *Hylocereus undatus*.

e) Determinación de dosis óptima de *Solanum tuberosum*

Según la **Figura 20**, se puede observar la dosificación de *Solanum tuberosum* (10mg/L, 20mg/L, 50mg/L, 80mg/L, 110mg/L y el control), este procedimiento se realizó por triplicado, con el fin de determinar la mejor dosis, fue sometido a agitación, 120 rpm durante 1 min (mezcla rápida), 30 rpm por 20 min (mezcla lenta) y se dejó sedimentar durante 24 hrs.

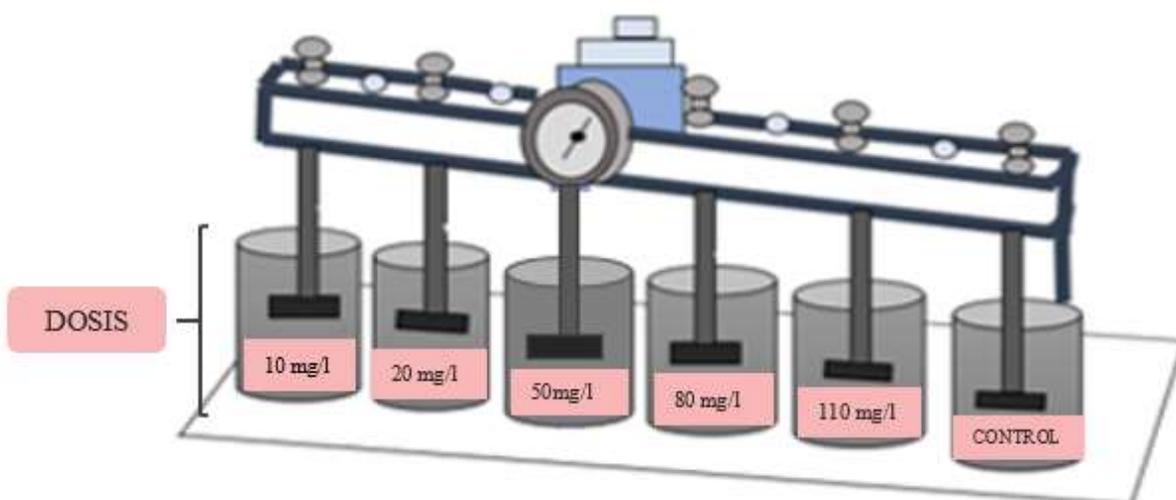


Figura 20. Dosificación del biofloculante *Solanum tuberosum*.

f) **Determinación de la mezcla de dosis óptima de la solución de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica***

En la **Figura 21**, para la determinación de la dosis óptima de la mezcla, se evaluó la remoción de turbidez (NTU), sólidos totales disueltos (STD), conductividad, trabajando con 6 tratamientos por triplicado haciendo un total de 18 ensayos.

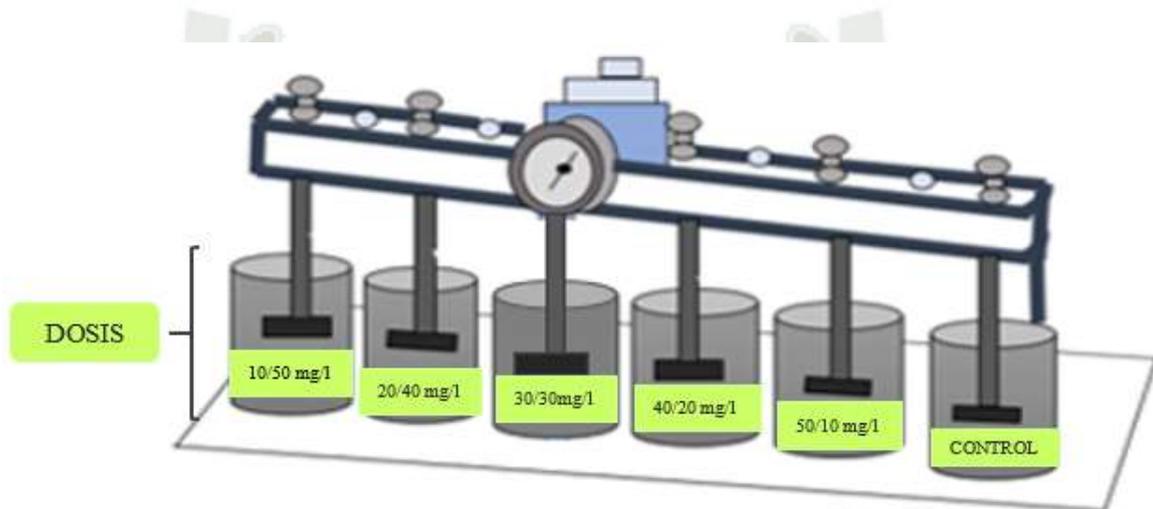


Figura 21. Mezcla de los biofloculantes *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*.

En la **Tabla 6**, se determina que en cada tratamiento se evaluó diferentes dosis de mezcla de *Solanum tuberosum/Opuntia ficus* 10/50 mg/L, 20/40 mg/L, 30/30 mg/L, 40/20 mg/L y 50/10 mg/L disueltos en la muestra de agua estudio detalladas en la **Figura 21**. Así mismo, cada mezcla estará compuesta por dos componentes según sea el caso haciendo en todas ellas la composición total del 100% w/w.

Para ello, se colocó en cada beaker del equipo de jarras, la muestra de agua para consumo humano con las mezclas de los biofloculantes *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica* detalladas la **Tabla 6**, empleando uno de los beakers como control (patrón), dejando en reacción a 120 rpm durante un minuto (mezcla rápida) y 30 rpm durante 20 minutos (mezcla lenta), posteriormente se dejó sedimentar por un tiempo constante de 24 hrs. Al culminar la reacción se midió los parámetros fisicoquímicos mencionados inicialmente y se realizó el cálculo de porcentaje de remoción.

Tabla 6. Pruebas por triplicado para la determinación de la mejor mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*.

Dosis de la mezcla (<i>Solanum tuberosum</i> / <i>Opuntia ficus indica</i>) mg/L	Mezcla de biofloculante (<i>Solanum tuberosum</i> / <i>Opuntia ficus</i>) mL	Muestra de agua (mL)
Control	0	500
10/50	0.5/2.5	497
20/40	1/2	497
30/30	1.5/1.5	497
40/20	2/1	497
50/10	2.5/0.5	497

g) Determinación de la dosis óptima de la solución de *Solanum tuberosum* – sulfato de aluminio

Para la determinación de la dosis óptima de la mezcla, se evaluó la remoción de turbidez, STD, CE, trabajando con 6 tratamientos por triplicado haciendo un total de 18 ensayos y en cada tratamiento se evaluó diferentes dosis de mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio 10/30 mg/L, 10/20 mg/L, 10/10 mg/L, 10/5 mg/L y 10/2 mg/L disueltos en la muestra de agua estudio detalladas en la **Figura 22**.

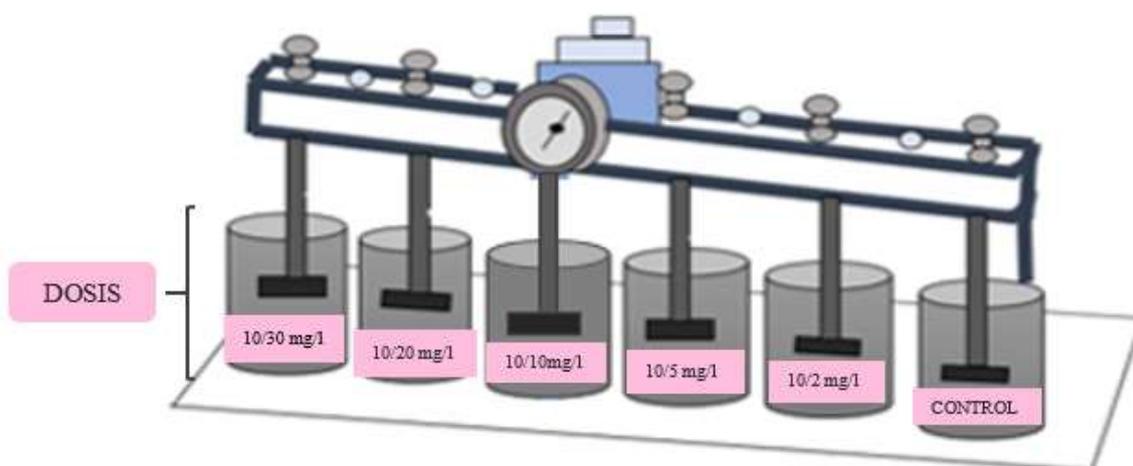


Figura 22. Mezcla del biofloculante *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Para ello, se colocó en cada beaker del equipo de jarras, la muestra de agua para consumo humano con la mezcla del coagulante químico y el biofloculante *Solanum tuberosum* detalladas en la **Tabla 7**. Dejando en reacción a 120 rpm durante un minuto (mezcla rápida) y 30 rpm durante 20 minutos (mezcla lenta). Posteriormente sedimentó por un tiempo constante de 24 hrs. Al culminar se midió los parámetros fisicoquímicos mencionados inicialmente y se realizó el cálculo de porcentaje de remoción según la ecuación de Usefi et al. [121,122]

Tabla 7. Pruebas para la determinación de la mejor mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Dosis de la mezcla <i>Solanum tuberosum</i> /sulfato de aluminio (mg/L)	Mezcla de biofloculantes <i>Solanum tuberosum</i> / sulfato de aluminio. (mL)	Muestra de agua (mL)
Control	500	0
10/30	0.5/1.5	498
10/20	0.5/1	498.5
10/10	0.5/0.5	499
10/5	0.5/0.25	499.25
10/2	0.5/0.1	499.4

Una vez culminada la prueba de jarras se determinó la eficiencia para el coagulante químico y cada biofloculante, calculando el porcentaje de remoción de la turbidez, empleando la **Ecuación 3** de [123]:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{T_i - T_f}{T_i} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

T_i: Turbidez inicial.

T_f: Turbidez final.

Los datos obtenidos se procesaron mediante el software estadístico Statgraphics Centurion XVI.I para realizar el modelamiento matemático respectivo, el análisis de varianza, la superficie de respuesta y la optimización de la composición de la mezcla de biofloculante propuesto.

2.4 Diagrama de flujo de actividades

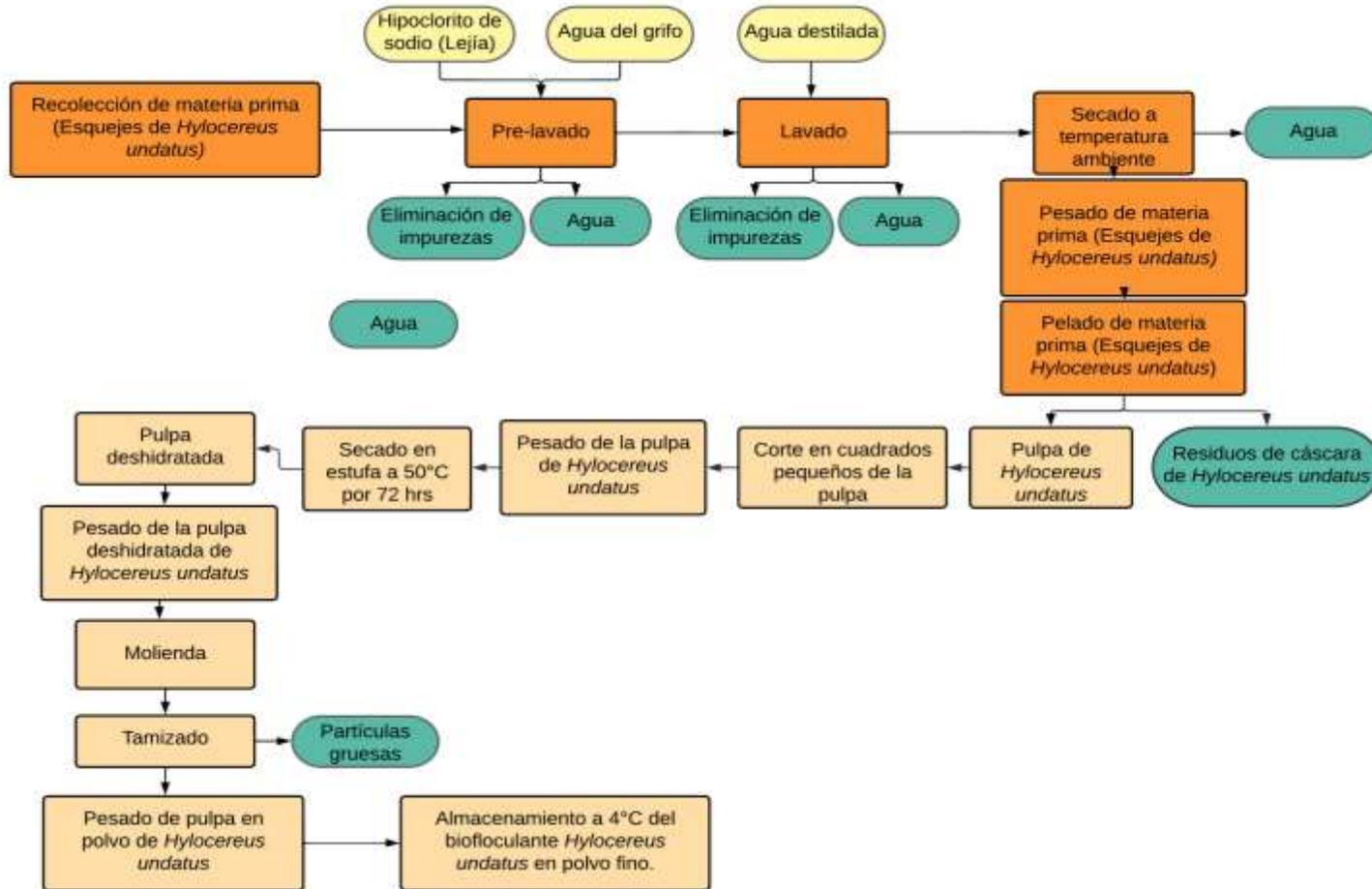


Figura 23. Diagrama de flujo de obtención de biofloculante (*Hylocereus undatus*).

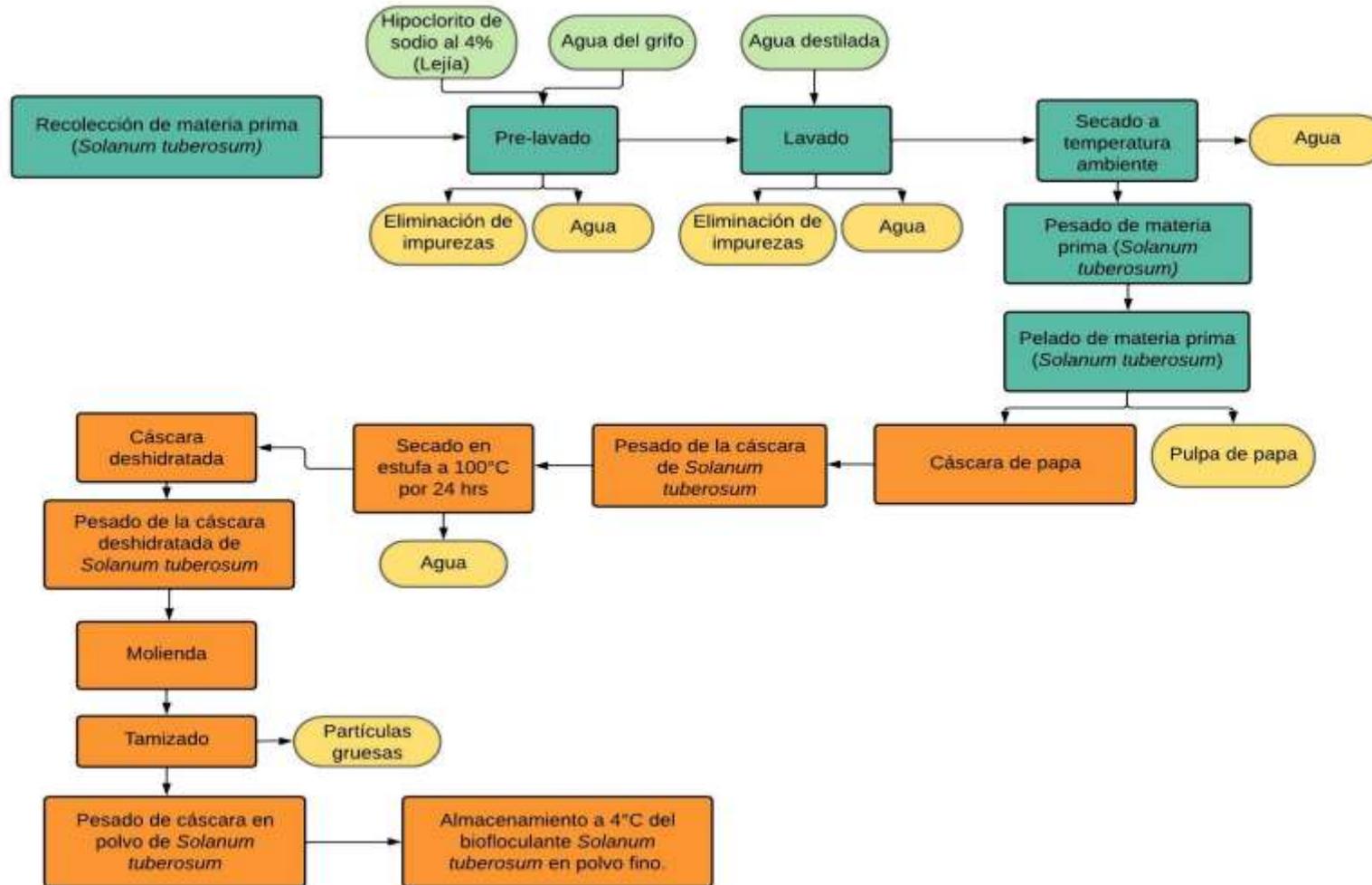


Figura 24. Diagrama de flujo de obtención de biofloculantes (*Solanum tuberosum*).

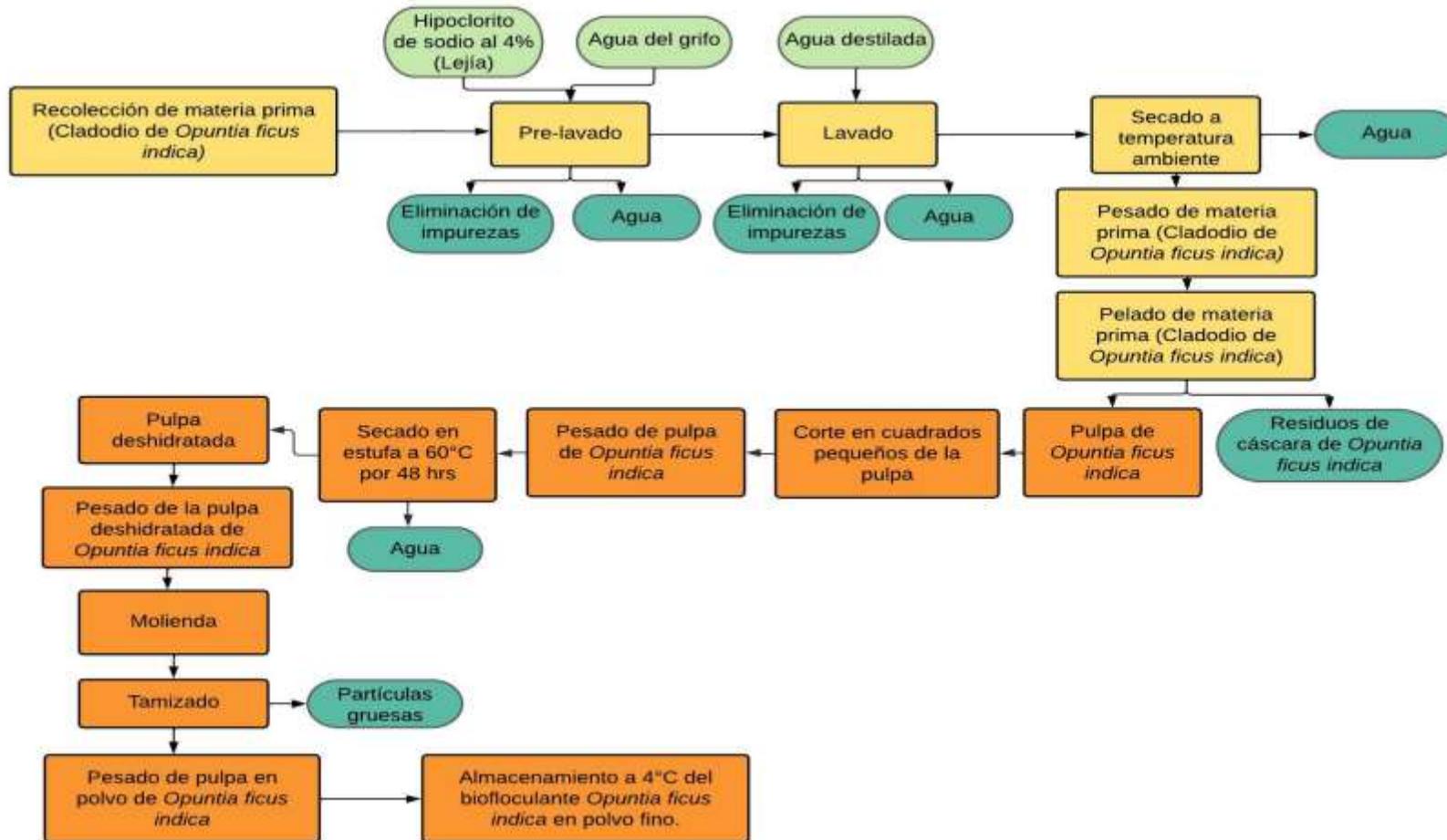


Figura 25. Diagrama de flujo de obtención de biofloculantes (*Opuntia ficus indica*).

CAPÍTULO III:

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterización fisicoquímica del agua para consumo humano del Distrito de Samegua -Av. Andrés Avelino Cáceres - Moquegua

En la **Tabla 8**, se muestra detalladamente las características iniciales de la muestra de agua para consumo humano tomada de un hogar del distrito de Samegua, provincia de Mariscal Nieto, en el departamento de Moquegua, esta muestra de agua se caracterizó de manera fisicoquímica, los parámetros de estudio fueron: turbidez, SST, STD, sólidos totales, pH y conductividad eléctrica.

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos iniciales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua.

Parámetro	Unidad de medida	Valor obtenido	Valor permitido*
pH	Adimensional	7.5	6.5-8.5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	9	-
Sólidos Totales disueltos	miligramo por litro (mg/L)	134	1000
Sólidos totales	miligramo por litro (mg/L)	222	-
Conductividad	microSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	268	1500
Turbidez	Unidades nefelométricas de Turbiedad (NTU)	25	5
Cloro total	mg/L	<0.02	5
Cloro libre	mg/L	<0.02	>0.5

*Valores establecidos en el reglamento de la calidad de agua DS 031-2010 ^[3].

Se comparó los resultados de la **Tabla 8** con los valores establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano ^[3]; se observó que los parámetros excedidos fueron turbidez con un valor de 25 NTU y aluminio con un valor de 0.51 mg/L (ver **Tabla 9**); según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano indica que el valor aceptado para turbidez es de 5 NTU y para aluminio un valor de 0.2 mg/L, el exceso de estos parámetros pueden causar problemas para la salud de la población, ya que el agua al tener una turbidez elevada puede aumentar la posibilidad de almacenar mayor cantidad de microorganismos, además, las concentraciones altas de aluminio en el organismo generan enfermedades degenerativas ^[45].

Por otra parte, los parámetros que no excedieron los valores establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano fueron: pH, STD, CE, ST, SST, cloro total y cloro libre.

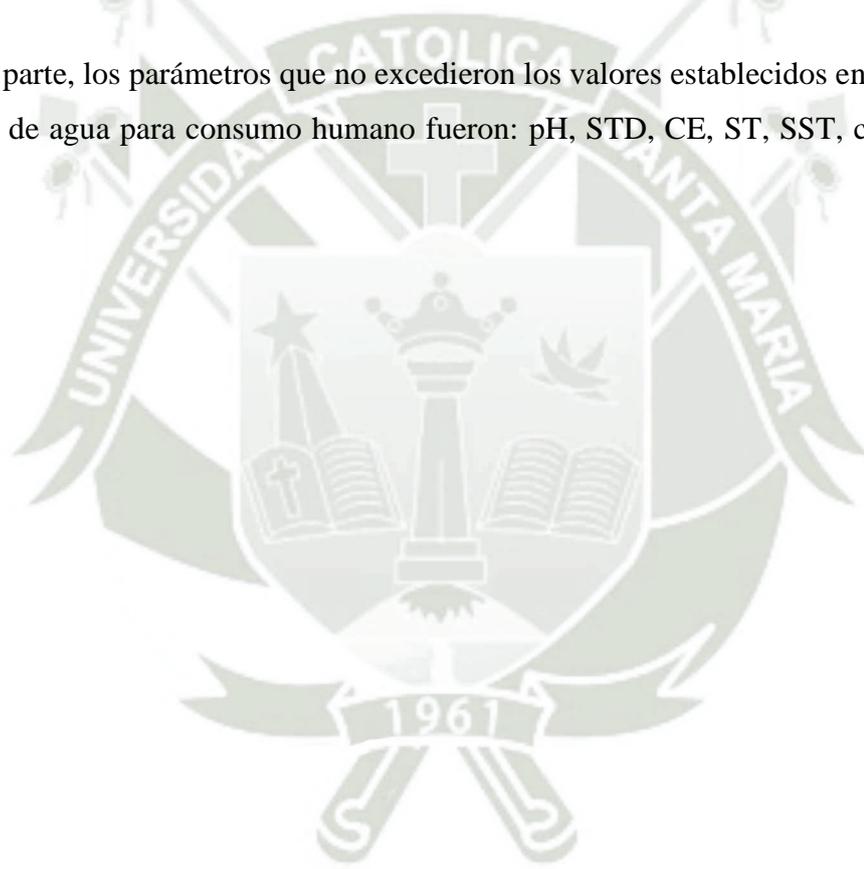


Tabla 9. Metales totales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua antes del tratamiento.

Metal	Agua para consumo humano M -1	Unidad de medida	Valor permitido
Al (aluminio)	0.51	mg/L	0.2
As (Arsénico)	0.003	mg/L	0.01
B (Boro)	0.178	mg/L	1.5
Ba (Bario)	0.032	mg/L	0.7
Ca (Calcio)	31.11	mg/L	*
Cu (Cobre)	0.005	mg/L	2
Fe (Hierro)	0.217	mg/L	0.3
K (Potasio)	3.27	mg/L	*
Li (Litio)	0.013	mg/L	*
Mg (Magnesio)	4.4	mg/L	*
Mn (Manganeso)	0.014	mg/L	0.4
Mo (Molibdeno)	0.002	mg/L	0.07
Na (Sodio)	17.25	mg/L	200
Ni (Niquel)	0.001	mg/L	0.02
P (Fósforo)	0.05	mg/L	*
Pb (Plomo)	0.001	mg/L	0.01
Si (Silicio)	17.2	mg/L	*
Sr (Estroncio)	0.185	mg/L	*
Ti (Titanio)	0.014	mg/L	*
Zn (Zinc)	0.015	mg/L	3

*Metales que no se encuentran en el humano del reglamento de la calidad del agua para consumo.

En la **Tabla 9**, se puede observar los resultados obtenidos de metales totales de nuestra muestra de agua para consumo humano, encontrando una elevada concentración de aluminio, según el reglamento de calidad de agua para consumo humano indica que el aluminio no debe exceder los 0.2 mg/L, por otra parte, los valores menores que se encontraron del límite de detección fueron As, Ag, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, Ti, Sb, Se, Sn, Tl, U, V, Zn.

3.2 Obtención de biofloculantes a partir de *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum*.

3.2.1. Obtención de biofloculantes

Tabla 10. Balance de materia de los biofloculantes *Opuntia ficus*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum*.

Biofloculante	Operación	M _i (g) ^a	M _f (g) ^b	ΔM(g) ^c	% R ^f
<i>Opuntia ficus indica</i>	Remoción de la pulpa	5096	2126	2970	41.72
	Secado	2126	556.1	1569.9	10.91
	Pulverizado y selección	556.1	32.72	521.37	0.68
	Tamizado	32.72	32.66	0.06	0.68
Total				5061.33	
<i>Hylocereus undatus</i>	Remoción de la pulpa	1449	603	846	41.61
	Secado	603	111.07	491.93	7.67
	Pulverizado y selección	111.07	34.56	76.51	2.39
	Tamizado	34.56	34.48	0.08	2.38
Total				1414.52	
<i>Solanum tuberosum</i>	Lavado y pelado	590	250	340	42.37
	Secado (T° ambiente)	250	66.83	183.17	11.33
	Secado	66.83	43.42	23.41	7.36
	Pulverizado y selección	43.42	37.09	6.33	6.29
	Tamizado / Polvo final	37.09	37.08	0.01	6.28
Total				552.92	

^a M_i: Masa inicial (g) ^b M_f: Masa final (g) ^cΔ M: M_i- M_f: Pérdida (g) ^f % R: Rendimiento

En la **Tabla 10**, se reportó el balance de masa de *Opuntia ficus* teniendo como masa inicial 5,096 g, después del lavado, se retiró las espinas y la pulpa obteniendo 2,126 g. Se secaron las tiras en cuadrados de penca de *Opuntia ficus* a 60°C por 48 horas, tras el secado quedaron 556.10 g. Luego, se llevó a cabo el pulverizado mediante un molino eléctrico de pequeña capacidad por lo cual no se obtuvo una pulverización completamente fina observando la presencia de masa granulada no pulverizada llevando a cabo una selección obteniéndose 32.72 g. Como resultado del proceso final, se realizó un tamizado como última operación, quedando 32.66 g del biofloculante de penca de *Opuntia ficus*.

Para el balance de masa de *Hylocereus undatus* se tuvo como masa inicial 1449 g, después del lavado, retiro de espinas y de la pulpa se obtuvo 603 g. Se secaron las tiras de *Hylocereus undatus* a 50°C por 72 horas, tras el secado quedaron 111.07 g. Luego, se llevó a cabo el pulverizado mediante un molino eléctrico, por lo cual no se obtuvo una pulverización completamente fina observando la presencia de masa granulada no pulverizada llevando a cabo una selección obteniéndose 34.56 g. Como resultado del proceso final, se realizó un tamizado como última operación, quedando 34.48 g del biofloculante de esqueje de *Hylocereus undatus*.

Se reportó el balance de masa de *Solanum tuberosum* teniendo como masa inicial 590 g, después del lavado y pelado se obtuvo 250 g. Primero, se llevó a cabo un secado a temperatura ambiente por 24 horas obteniendo 66.83 g. Posteriormente, se secaron las cáscaras de *Solanum tuberosum* a 100 °C por 24 horas, tras el secado quedaron 43.42 g. Luego, se llevó a cabo el pulverizado mediante un molino eléctrico, por lo cual no se obtuvo una pulverización completamente fina observando la presencia de masa granulada no pulverizada llevando a cabo una selección obteniéndose 37.09 g. Como resultado del proceso final, se realizó un tamizado como última operación, quedando 37.08 g del biofloculante a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum*

Además, se determinó en la **Tabla 10**, un mayor rendimiento de *Solanum tuberosum* de 6.28% teniendo como masa inicial 250 g de materia prima y al ser expuestas por diferentes operaciones unitarias se tuvo un 37.08 g de la materia prima, así mismo, se obtiene menores porcentajes de rendimiento en pulpa de *Hylocereus undatus* de 2.38% teniendo como masa final 34.48 g y en pulpa de *Opuntia ficus indica* de 0.68 % disminuyendo de una masa inicial de 2 126 g a valores de masa final de 32.66 g, ambos biofloculantes muestra una mayor pérdida de materia prima por un alto contenido de agua en su composición, en comparación con otros autores, Villabona et al. ^[124] para la obtención del biofloculante *Opuntia ficus* en polvo, trabajaron con

1201.5 g de penca de tuna, sin embargo al obtener el polvo del biofloculante y tamizar obtuvieron 78.2 gramos por ende se obtuvo un rendimiento del 6.5% y Herrera ^[8], para la obtención del biofloculante del almidón de papa trabajaron con 1000 gramos de papa ,teniendo una pérdida o regazo de 81.21 gramos obteniéndose 18.79 gramos de almidón de papa , posteriormente determinaron el rendimiento teórico teniendo porcentajes entre 12-19% .

3.2.2. Porcentaje de humedad

Para la obtención de cada biofloculante en polvo, se pesó la muestra antes y después del proceso del secado para evaluar la pérdida de agua obteniéndose resultados detallados en la **Tabla 11**, mostrando resultados donde se tiene que la pulpa de *Hylocereus undatus* presenta el mayor contenido de humedad frente a los otros biofloculantes empleados, ya que perdió el 81.58% de su peso en comparación con *Opuntia ficus indica* que perdió el 73.84% de su peso mientras que para *Solanum tuberosum* se tiene una menor contenido de humedad del 34.74.

Tabla 11. Porcentaje de humedad contenido en el biofloculante.

Muestra	Peso húmedo (g)	Peso en seco (g)	% Humedad
Pulpa de <i>Opuntia ficus indica</i>	2126	556.1	73.84
Pulpa de <i>Hylocereus undatus</i>	603	111.07	81.58
Cáscaras de <i>Solanum tuberosum</i>	66.83	43.42	34.74

En la **Tabla 11**, se muestra resultados del porcentaje de humedad contenido en el biofloculante representando mayor pérdida de agua en la pulpa de *Hylocereus undatus* teniendo como peso húmedo 603 g y 111.07 g de peso en seco al ser expuesto a operaciones de lavado, pelado y secado con un % de humedad de 81.58% mientras que en cáscaras de *Solanum tuberosum* se determinó un menor % de humedad, teniendo como peso húmedo 66.83 g y un peso seco de 43.42 g y al pasar por operaciones de lavado, secado y pulverizado se obtuvo un % de humedad de 34.74% es decir, *Hylocereus undatus* y *Opuntia ficus* presentan mayor contenido de agua en su composición que *Solanum tuberosum*.

3.3 Evaluación del desempeño de los biofloculantes obtenidos y mezclas de estos en la remoción de turbidez, STD y CE.

3.3.1 Determinación de la dosis óptima del floculante químico.

- Turbidez.

Tabla 12. Porcentaje de remoción de NTU con sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
Control	mg/L	3	35.87 \pm 0.61 ^a	1.70
5	mg/L	3	87.73 \pm 0.58 ^b	0.66
15	mg/L	3	94.69 \pm 0.46 ^c	0.48
20	mg/L	3	96.58 \pm 0.70 ^d	0.72
25	mg/L	3	97.66 \pm 0.43 ^d	0.44
30	mg/L	3	98.08 \pm 0.54 ^d	0.55

Prueba	Estadístico	Valor-p	Interpretación
SW	0.579366	0.0007749	DNN
LEV	0.082888	0.9937	NS
KW	15.967	0.0069512	S
ANOVA	5695.82	0.0000	S

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ S: significativo $p < 0.05$ ^{abcd} significativo

En la **Tabla 12**, se muestra los porcentajes de remoción de la turbidez con sulfato de aluminio, donde inicialmente la mejor dosis fue de 30 mg/L alcanzando el mayor porcentaje de remoción de 98.08 \pm 0.54%, seguido de las dosis de 15, 20 y 25 mg/L, alcanzando porcentajes de remoción de 94.69 \pm 0.46%, 96.58 \pm 0.70% y 97.66 \pm 0.43% respectivamente, por otro lado la dosis de 5 mg/L permitió alcanzar un porcentaje de remoción solamente de 87.73 \pm 0.58%; sin embargo, teniendo en cuenta que los coagulantes a base de aluminio se asimilan de forma ligera en los seres vivos y su ingesta genera efectos negativos en la salud humana como el deterioro cognitivo y el cáncer, asimismo, altos niveles de inflamación en el cerebro generando su envejecimiento y enfermedades degenerativas como la enfermedad del Alzheimer ^[125], se optó por trabajar con una baja dosis del sulfato de aluminio de 20 mg/L por su poca concentración del compuesto químico, además, como se puede observar en la **Figura 26**, existe una diferencia significativa con respecto al control.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 32**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 33**), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la turbidez de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 34**) reportando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p < 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 35**) determinando que el valor de $p < 0.05$ indicando existe una diferencia significativa.

Se comparó esta investigación con la de Meza et. al ^[126], ya que al aplicar una dosis de 20 mg/L, se obtuvo una remoción del 96%, en el caso de estos autores lograron reducir su valor de turbidez inicial de 56.5 NTU obteniendo un valor final de 1.8 NTU, por otra parte, en nuestra investigación a una dosis de 20 mg/L, se logró una remoción de $96.58 \pm 0.70\%$, reduciendo nuestra turbidez de 25 NTU a un valor final de 0.85 NTU, cabe indicar que, la muestra utilizada por los autores en mención fue una muestra de agua superficial y la de nuestra investigación fue una muestra de agua para consumo humano, es por eso que, se eligió trabajar con una menor dosis, ya que, al analizar nuestras muestras en un laboratorio acreditado por el INACAL, indicó que nuestra muestra de agua para consumo humano contenía 0.51 mg/L de aluminio, este valor excede según el reglamento de la calidad para consumo humano, debido a estos resultados, si agregamos más cantidad de sulfato de aluminio puede aumentar más los valores en esta muestra de agua para consumo humano.

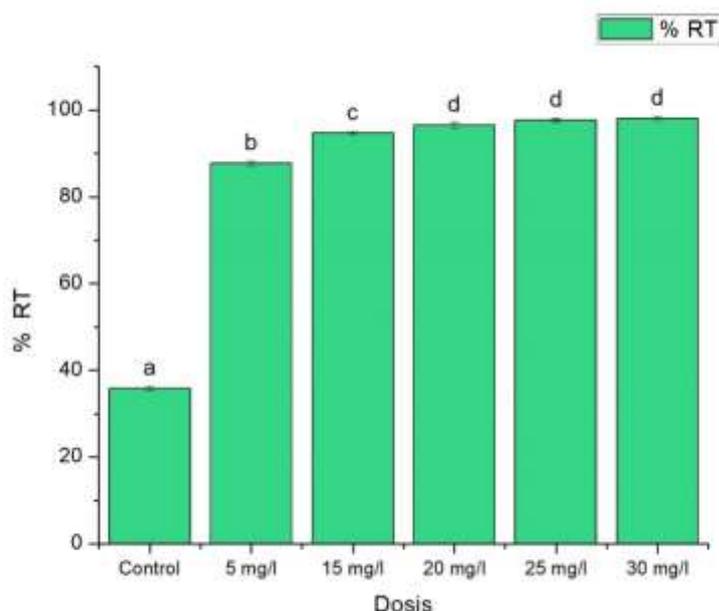


Figura 26. Remoción de turbidez en función a diferentes dosis de sulfato de aluminio.

Lédo et al. ^[127] presentaron menores resultados comparados a los de nuestra investigación, al aplicar una dosis de 15 mg/l de sulfato de aluminio, logrando remover solamente un 84% de turbidez, por otra parte, Mousavian et al. ^[128] trabajaron con una concentración de 12 mg/L con el mismo coagulante (sulfato de aluminio), logrando una mayor remoción de su turbidez a un 90%, sin embargo, en comparación con nuestra investigación, al trabajar con dosis relativamente cercanas de 15 mg/L en una muestra de agua para consumo humano, se obtuvo un porcentaje de remoción de $94.69 \pm 0.46\%$; logrando reducir la turbidez inicial hasta un valor final de 1.33 NTU, indicando una notable remoción de turbidez. Cabe indicar que, las muestras de agua de los autores en mención fueron diferentes a las tomadas en la presente investigación.

- Sólidos totales disueltos

Tabla 13. Evaluación de STD aplicando el coagulante químico (sulfato de aluminio).

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (mg/L)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	128.0 \pm 7.81 ^a	6.10
5	mg/L	3	123.0 \pm 7.94 ^a	6.45
15	mg/L	3	123.0 \pm 9.85 ^a	8.00
20	mg/L	3	120.3 \pm 6.03 ^a	5.01
25	mg/L	3	122.7 \pm 9.71 ^a	7.92
30	mg/L	3	125.0 \pm 8.54 ^a	6.84
Prueba	Estadístico		Valor-p	Interpretación
SW	0.8940		0.0494 ⁰⁷	DNN
LEV	0.0719		0.9954 ¹⁷	NS
KW	2.6582		0.7524 ¹⁷	NS
ANOVA	0.28		0.9127 ¹⁷	NS

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^a no significativo

En la **Tabla 13**, se muestra los resultados de los STD evaluados con diferentes dosis del coagulante químico sulfato de aluminio, encontrando para el control valores promedios de 128.0 ± 7.8 mg/L mientras que la dosis de 30 mg/L se obtuvo valores promedios de sólidos totales disueltos de 125.0 ± 8.54 mg/L.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 36**) luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 37**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre los sólidos totales disueltos de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 38**) reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$ finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 39**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando no hay una diferencia significativa.

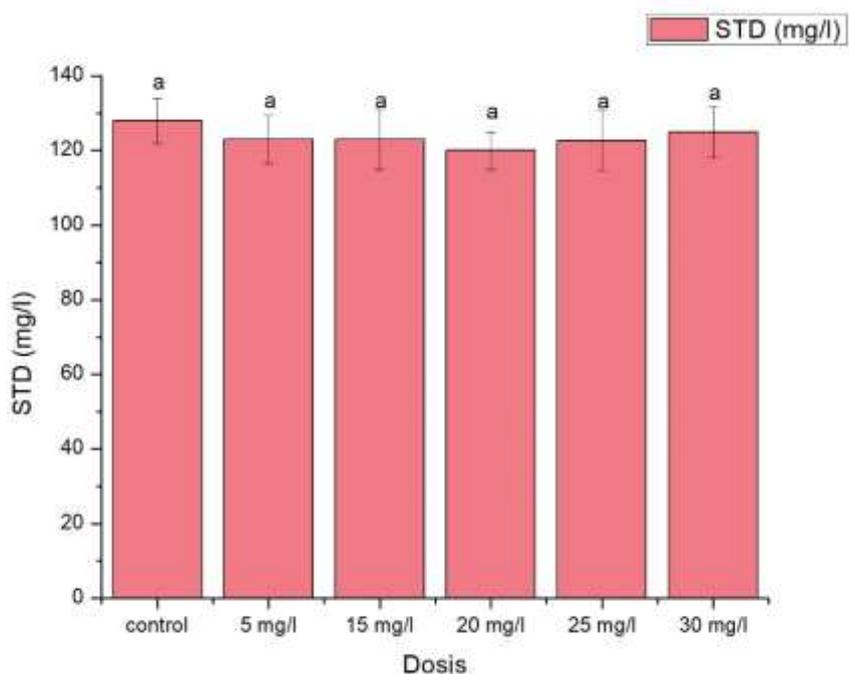


Figura 27. STD en función a diferentes dosis de sulfato de aluminio

En la **Figura 27**, se identificó que entre los grupos de tratamientos de dosis de sulfato de aluminio para STD, no existió diferencia significativa con respecto al control, ya que al aplicar las diferentes dosis de 5, 15, 20, 25 y 30 mg/L no se observa ninguna disminución en los STD, por otra parte, es importante resaltar que nuestra muestra desde un principio, no excedió el valor permitido de STD según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano^[3] (ver **Anexo II**).

En otras investigaciones como las de Olivero et al. ^[129], emplearon dosis mayores a las utilizadas en la presente investigación, donde los autores ya mencionados al trabajar una con una dosis de 40 mg/L, lograron reducir sus valores de STD a 82.17 mg/L, estos autores, trabajaron con una muestra de agua superficial, se enfocaron en evaluar sus STD en función a las velocidades de agitación, por otra parte, en nuestra investigación tomamos la velocidad de agitación según referencias bibliográficas como las de Meza et al. ^[126].

En otros resultados como la de Quino ^[130], trabajó con una muestra de agua de río con una concentración inicial de STD de 72.36 mg/L, al tratar su muestra de agua con el sulfato de aluminio disminuyó a 1.17 mg/L, observando una notable reducción del parámetro, por otra parte, en nuestra investigación, se tuvo una concentración inicial de STD de 134 mg/L de

nuestra muestra de agua para consumo humano, este valor del parámetro se encuentra dentro de lo establecido según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano; al usar el coagulante químico en nuestra muestra a una dosis de 20 mg/L disminuyó a 120.3 ± 6.03 mg/L, siendo el mejor porcentaje de remoción de STD.

- Conductividad eléctrica

Tabla 14. Evaluación de CE con sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (μ S/cm)	Coefficiente de Variación (%)
Control	mg/L	3	253.3 ± 18.90^a	7.46
5	mg/L	3	245.7 ± 16.44^a	6.69
15	mg/L	3	245.0 ± 20.66^a	8.43
20	mg/L	3	239.3 ± 15.82^a	6.61
25	mg/L	3	244.7 ± 20.53^a	8.39
30	mg/L	3	247.0 ± 22.61^a	9.15
Prueba	Estadístico		Valor – p	Interpretación
SW	0.8585		0.0163	DNN
LEV	0.0537		0.9981	NS
KW	0.8316		0.8611	NS
ANOVA	0.16		0.9711	NS

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^a no significativo

En la **Tabla 14**, se muestra los estadísticos descriptivos para la CE evaluados con diferentes dosis del coagulante químico sulfato de aluminio, encontrando para el control valores promedios de una CE de 253.33 ± 18.90 μ S/cm, mientras que en la dosis 30 mg/L se obtuvo un mayor promedio de CE de 247.0 ± 22.61 μ S/cm, cabe indicar que, estos valores de CE no excedieron ningún valor según el reglamento.

Estadísticamente, se realizó la prueba Shapiro Wilk, donde se obtuvo valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 40**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 41**) se observó una igualdad entre varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia

estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la CE de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 42**), reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 43**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando no hay una diferencia significativa.

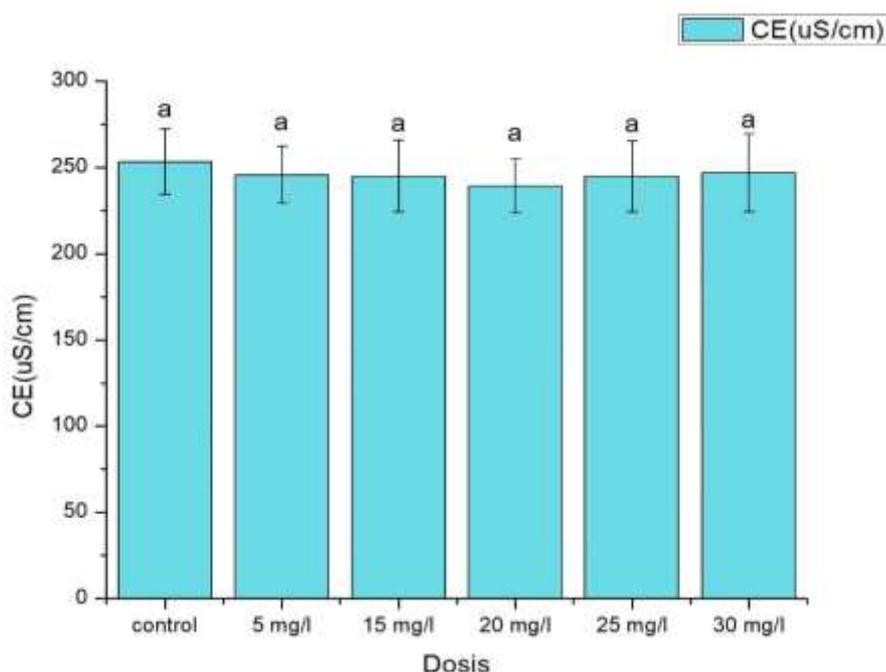


Figura 28. CE en función a dosis de sulfato de aluminio.

En la **Figura 28**, se identificó que entre los grupos de tratamientos de dosis de sulfato de aluminio para CE las medias compartieron una misma letra indicando no se presentó diferencias entre ellas.

Investigaciones similares a nuestro estudio como el de Olivero et al. ^[129] emplearon mayores dosis de sulfato de aluminio, disminuyendo su CE de 171.13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 151.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una dosis de 40 mg/L, cabe indicar que, su muestra de agua fue de una fuente superficial y nuestra muestra: agua para consumo humano que mantuvo los valores de conductividad por debajo de los valores establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano, además, en el presente trabajo, la conductividad inicial de la muestra de agua fue de 268 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donde al aplicar una menor dosis de 20 mg/L, se observó una disminución de la conductividad con un valor final de 239.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, determinando que existe una relación directamente proporcional, es decir, mientras menor sean los valores promedios de los STD, menor será la conductividad.

3.3.2 Determinación de la dosis óptima de los biofloculantes *Opuntia ficus indica*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum*.

a) *Opuntia ficus*

- Turbidez.

Tabla 15. Porcentajes de remoción de NTU con *Opuntia ficus indica*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (%)	Coefficiente de Variación (%)
Control	mg/L	3	38.37 ± 0.68 ^a	7.46
50	mg/L	3	97.37 ± 0.32 ^b	6.69
80	mg/L	3	96.17 ± 0.59 ^b	8.43
90	mg/L	3	93.10 ± 0.89 ^b	6.61
100	mg/L	3	92.78 ± 1.28 ^c	8.39
110	mg/L	3	91.52 ± 1.48 ^c	9.15

Prueba	Estadístico	Valor – p	Interpretación
SW	0.553802	0.00000037	DNN
LEV	0.641237	0.6730	NS
KW	15.4094	0.008749	S
ANOVA	9.85	0.0006	S

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ S: Significativo $p < 0.05$
^{a b c} significativo

En la **Tabla 15**, se puede observar los resultados del porcentaje de remoción de turbidez aplicando el biofloculante *Opuntia ficus indica*, obteniendo mejores resultados con dosis de 50 y 80 mg/L, alcanzando porcentajes de remoción de $97.37 \pm 0.32\%$ y $96.17 \pm 0.59\%$, respectivamente, estos resultados fueron comparados con la investigación de Caldera et al. [94], donde lograron remover hasta 96.39% con una dosis de 50 mg/L y el nivel de turbidez disminuyó de 150 NTU a 5 NTU; para obtener mejores resultados los autores en mención realizaron un filtrado, logrando obtener un porcentaje de remoción de 99.64%, este resultado presentó una mejor remoción de turbidez comparado al de nuestra investigación, sin embargo, cabe resaltar que su muestra de agua fue una muestra de agua con arcilla comercial y la de nuestra investigación fue una muestra de agua para consumo humano con un nivel de turbidez inicial de 25 NTU.

Estadísticamente, se realizó la prueba Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 44**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 45**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la turbidez de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 46**) reportando una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p < 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 47**), determinando que el valor de $p < 0.05$ indicando existe una diferencia significativa.

Por otro lado, las dosis de 90, 100 y 110 mg/L permitió alcanzar porcentajes de remoción de solamente $93.10 \pm 0.89\%$, $92.78 \pm 1.28\%$ y $91.52 \pm 1.48\%$ respectivamente, según la **Figura 29**, podemos confirmar que existe diferencia significativa entre las dosis, ya que al aplicar menores cantidades del biofloculante se puede observar altos porcentajes de remoción.

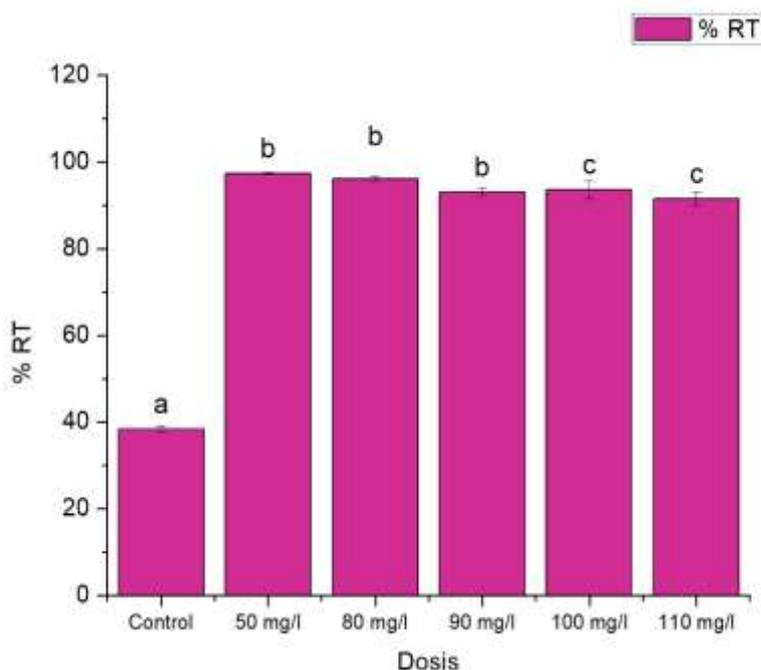


Figura 29. Porcentaje de turbidez en función de diferentes dosis de *Opuntia ficus*.

Los resultados de Almazán et al. ^[131], comparados con nuestra investigación mostraron una mejor remoción al usar mucílago de penca de tuna licuado, obtuvieron porcentajes de remoción mayores a 99%, además, también trabajaron con el polvo de mucílago de penca de tuna, donde

su remoción fue de 96% siendo un porcentaje menor al obtenido en nuestra investigación; según los autores en mención indica que el alto porcentaje de remoción puede deberse a que la *Opuntia ficus indica* se caracteriza por la producción de un hidrocoloide y al estar de forma licuada se produce una mejor interacción de éste con los sólidos suspendidos y así disminuye la turbidez.

Adicionalmente se encontraron trabajos que utilizaron *Opuntia ficus indica* en la remoción de turbidez de aguas de Industrias Lácteas, Chuiza et al. ^[132] obtuvieron un porcentaje de remoción de turbidez de 77.84%, en otro estudio similar donde se trabajó con aguas residuales Vaca et al. ^[133], obtuvieron una reducción de 92% de turbidez, estas investigaciones concluyen que se puede utilizar el biofloculante *Opuntia ficus indica* como tratamiento alternativo ya que tiene una gran efectividad, es de bajo costo y no tiene efectos tóxicos al medio ambiente, además de que puede ser aplicado como tratamiento preliminar en aguas residuales.

- Sólidos totales disueltos

Tabla 16. Evaluación de STD aplicando *Opuntia ficus indica*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (mg/L)	Coefficiente de Variación (%)
Control	mg/L	3	130.67 ± 1.53 ^a	1.17
50	mg/L	3	126.33 ± 2.31 ^a	1.83
80	mg/L	3	129.33 ± 3.22 ^a	2.49
90	mg/L	3	130.33 ± 4.73 ^a	3.63
100	mg/L	3	132.5 ± 1.0 ^a	0.75
110	mg/L	3	134.5 ± 1.0 ^a	1.58
Prueba	Estadístico		Valor-p	Interpretación
SW	0.9145		0.1058	DN
LEV	0.5317		0.7486	NS
ANOVA	2.84		0.0643	NS

DN: Distribución normal $p \geq 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ S: Significativo $p < 0.05$

^a no significativo

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la **Tabla 16**, las mejores dosis que tuvieron una menor cantidad de STD fueron la dosis (50 y 80 mg/L) con valores de 126.33 ± 2.31 mg/L y 129.33 ± 3.22 mg/L, respectivamente, por otra parte, para las dosis de (90, 100 y 110 mg/L)

las cantidades de STD fueron más elevadas, 130.33 ± 4.73 mg/L, 132.5 ± 1.0 mg/L y 134.5 ± 2.12 mg/L respectivamente; cabe indicar que los resultados obtenidos de STD no exceden los valores según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano [3].

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p \geq 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (ver **Tabla 48**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 49**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 , no existe diferencia significativa entre las varianzas, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo la prueba de ANOVA (ver **Tabla 50**) determinando que el valor de $p < 0.05$ reportando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos.

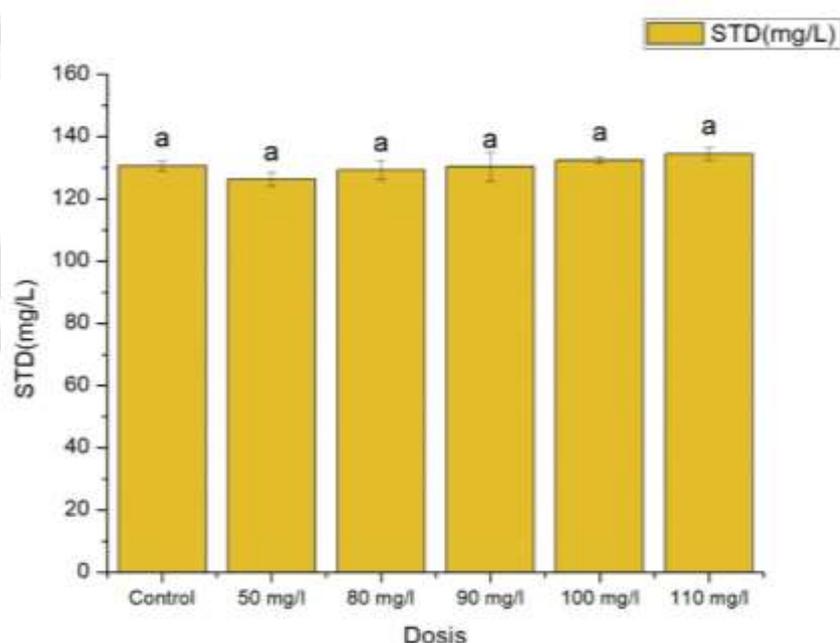


Figura 30. STD en función a diferentes dosis de *Opuntia ficus*.

Según la Organización Mundial de Salud (OMS), indica que a concentraciones mayores de 1000 mg/L, la aceptabilidad del sabor del agua de consumo humano disminuye significativa y progresivamente [16]; los STD son clasificados como contaminantes secundarios, si el agua para consumo humano presenta STD proporciona una apariencia turbia y también disminuye el sabor, además, las personas que lo consuman pueden experimentar irritación gastrointestinal [60], por otra parte, en nuestra investigación los STD presentaron valores inferiores a lo reglamentado de la calidad de aguas para consumo humano.

Según la **Figura 30**, se puede evidenciar que no existió una diferencia significativa entre las dosis y el control, ya que presenta resultados similares, por otro lado, Contreras et al. ^[134] mostraron mejores resultados, encontrando diferencias significativas en las dosis aplicadas, logrando disminuir los STD de su muestra de 3209 mg/L a 200 mg/L, cabe resaltar que, su muestra de agua fue de una fuente superficial, muy diferente a la nuestra ya que trabajamos con una muestra de agua para consumo humano.

- Conductividad eléctrica

Tabla 17. Evaluación de la CE de *Opuntia ficus indica*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (µS/cm)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	267.67± 2.52 ^a	0.94
50	mg/L	3	256.67 ±7.64 ^a	2.98
80	mg/L	3	259.33 ± 7.09 ^a	2.74
90	mg/L	3	261.0 ±3.61 ^a	1.38
100	mg/L	3	260.67 ± 1.15 ^a	0.44
110	mg/L	3	258.0 ± 2.0 ^a	0.77
Prueba	Estadístico		Valor -p	Interpretación
SW	0.9748 ¹⁸		0.8615 ⁰⁹	DN
LEV	1.0364		0.4399 ⁰⁹	NS
ANOVA	0.9748 ¹⁸		0.1516	NS

DN: Distribución normal $p \geq 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^a no significativo

Al evaluar los resultados obtenidos en la **Tabla 17**, se observó que ninguno de los resultados excedieron los valores establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano, donde indica que el valor permitido es de 1500 µmho/cm; investigaciones como la de Meza et al. ^[126], determinaron que los biofloculantes no alteran significativamente la conductividad.

Al determinar la prueba de Shapiro Wilk se obtuvo un valor de $p \geq 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (ver **Tabla 51**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 52**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente al evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 53**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 , indicando que no se presentó una diferencia significativa entre los tratamientos.

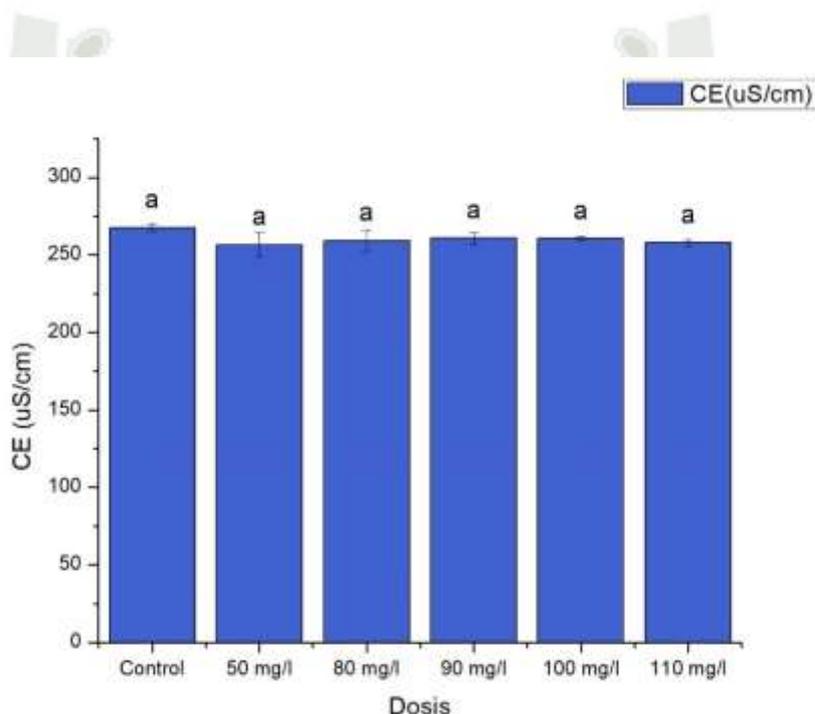


Figura 31. CE en función a dosis de *Opuntia ficus indica*.

En la **Figura 31**, se puede observar que al aplicar cualquier cantidad del biofloculante *Opuntia ficus indica*, ésta no altera los niveles de CE en la muestra de agua para consumo humano, sin embargo en otros estudios como el de Rivera ^[135] logró reducir un 16.42% la CE de su muestra, el autor en mención indicó que al trabajar con *Opuntia ficus indica* no le generó mucha variación en sus resultados, cabe indicar que el autor trabajó con una muestra de aguas residual.

b) Hylocereus undatus

- Turbidez.

Tabla 18. Porcentaje de remoción de NTU con *Hylocereus undatus*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (%)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	39.59 ± 2.09 ^a	5.27
90	mg/L	3	83.89 ± 5.22 ^b	6.23
200	mg/L	3	82.22 ± 3.61 ^b	4.40
300	mg/L	3	85.04 ± 3.37 ^b	3.97
400	mg/L	3	82.31 ± 4.33 ^b	5.26
500	mg/L	3	82.52 ± 4.10 ^b	4.97
Prueba	Estadístico		Valor-p	Interpretación
SW	0.6444 ⁹³		0.0000	DNN
LEV	0.1754 ⁶		0.9667	NS
KW	8.2216 ⁵		0.1444 ³⁶	NS
ANOVA	62.47		0.0000	S

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ S: Significativo $p < 0.05$
^{a b} significativo

En la **Tabla 18**, se muestra los estadísticos descriptivos para el porcentaje de remoción de turbidez (NTU) utilizando como biofloculante a *Hylocereus undatus*, obteniendo el mayor porcentaje de remoción de $85.04 \pm 3.37\%$ a una dosis de 300 mg/L, por otra parte, las dosis de 90mg/L, 200mg/L, 400mg/L y 500 mg/L permitió alcanzar porcentajes de remoción solamente de $83.89 \pm 5.22\%$, $82.22 \pm 3.61\%$, $82.31 \pm 4.33\%$, $82.52 \pm 4.10\%$ respectivamente.

Estos resultados fueron comparados con los de Idris et al. ^[136], donde sus rangos de dosificación fueron de 200 a 800 mg/L, logrando registrar remociones del 95%; un porcentaje de remoción bastante elevado al de nuestra investigación, además, los autores en mención sugirieron que trabajar con el follaje de *Hylocereus* puede presentar mayores remociones en aguas menos contaminadas como aguas superficiales, cabe indicar que el tipo de muestra que utilizaron fueron efluentes de látex donde su turbidez inicial fue de 7243 NTU, por otra parte, en nuestra investigación al utilizar un tipo de agua menos contaminada con un nivel de turbidez de 25 NTU no se logró obtener porcentajes mayores a $85.04 \pm 3.37\%$, esto pudo haber pasado,

debido a que, a medida que aumentaba la dosis en cada muestra, la muestra se hacía mucho más densa y la formación de flóculos se hacía muy escasa.

Otras investigaciones como las de Choy et al. ^[137] mencionan que al trabajar con los coloides presentes en el follaje de *H. undatus* son catiónicos muy similares a los de las semillas de *Moringa oleifera*, por lo tanto, su adsorción y neutralización de la carga ha sido propuesto como posible mecanismo de coagulación y que conduce a formación de flóculos.

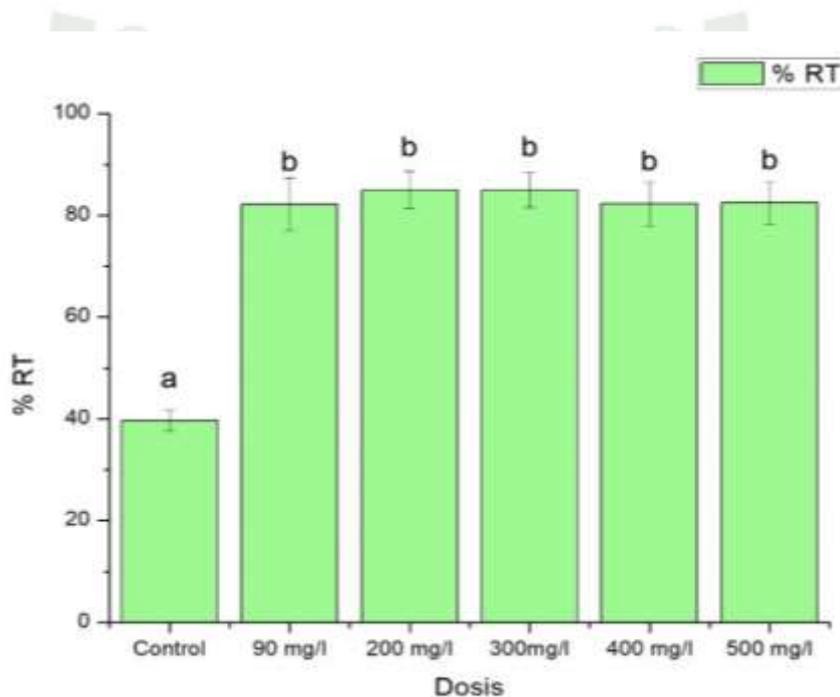


Figura 32. Porcentaje de la turbidez en función a dosis de *Hylocereus undatus*.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 58**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 59**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 , indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 60**) determinando que el valor de $p < 0.05$ indicando existe una diferencia significativa.

En la **Figura 32**, se puede observar que, si existe una diferencia significativa con respecto al control, sin embargo, también se puede observar que si aplicamos una menor cantidad del biofloculante (90mg/L) se obtendrá casi el mismo resultado que si aplicamos una mayor concentración del biofloculante (500 mg/L).

Adicionalmente, se encontraron investigaciones donde trabajaron con la cáscara del fruto de *Hylocereus undatus*, Ismail et al. ^[98], al trabajar con aguas residuales demostraron que sus niveles de remoción de turbidez fueron bastante bajos (67%), trabajos similares como el de Le et al. ^[138] utilizaron una mezcla de la cáscara del fruto de *Hylocereus undatus* con Policloruro de aluminio (PAC), obteniendo porcentajes de remoción de turbidez de 95%, Le ^[139], también evaluó la combinación del (PAC) con el mucílago de *Hylocereus undatus*, obteniendo porcentajes de remoción de turbidez de 94.42%, el tipo de agua que utilizó fue aguas residuales de Industria textil; según los autores mencionados anteriormente indican que el mucílago ya sea extraído del tallo o de la cáscara del fruto de *Hylocereus undatus*, contienen ácidos galacturónicos, lo que es predominante en el coagulante activo independientemente de la especie, además, *Hylocereus undatus* contiene altos polímeros como los polisacáridos lo que proporciona sitios activos en la cadena polimérica para tener buena adsorción de partículas y fomentar el proceso de coagulación, así también lo menciona Choy et al. ^[137].

- Sólidos totales disueltos

Tabla 19. Evaluación de STD aplicando *Hylocereus undatus*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (mg/L)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	131.67 ± 1.16 ^a	0.88
90	mg/L	3	133.67 ± 3.52 ^a	2.63
200	mg/L	3	140.0 ± 4.0 ^{ab}	2.86
300	mg/L	3	148.33 ± 4.94 ^{bc}	3.33
400	mg/L	3	157.0 ± 5.30 ^{cd}	3.37
500	mg/L	3	165.67 ± 1.16 ^d	0.70

Prueba	Estadístico	Valor -p	Interpretación
SW	0.9048 ⁴⁷	0.0706 ⁸	DN
LEV	0.5041	0.7678 ¹⁵	NS
ANOVA	39.17	0.0000	S

DN: Distribución normal $p \geq 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ S: Significativo $p < 0.05$ ^{a ab bc cd d} significativo

En la **Tabla 19**, se muestra los estadísticos descriptivos para los STD utilizando el biofloculante *Hylocereus undatus*, los resultados mostraron que para todas las dosificaciones de (90, 200, 300, 400 y 500 mg/L) los niveles de STD fueron más elevados que las del control, donde, sus valores fueron de 133.67 ± 3.51 mg/L, 140.0 ± 4.0 mg/L, 148.33 ± 4.93 mg/L, 157.0 ± 5.29 mg/L y 165.67 ± 1.16 mg/L respectivamente; los STD fueron incrementando debido a que, al preparar la solución inicial esta presentaba mucha viscosidad, es por eso que, se realizó un previo filtrado con papel filtro por aproximadamente 2 hrs, pasado este tiempo, no se obtuvo ningún resultado, por ello, se decidió utilizar gasas para filtrar, teniendo como resultado el mismo (una solución viscosa), por otra parte, al ir agregando el biofloculante a concentraciones de 400 y 500 mg/L se observó que la muestra de agua para consumo humano presentaba viscosidad, por lo que, en la **Figura 33** puede observar un incremento de STD en la muestra de agua para consumo humano.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p \geq 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (ver **Tabla 58**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 59**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 , indicando que no existe una diferencia

estadísticamente significativa, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 60**) determinando que el valor de $p < 0.05$ indicando existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

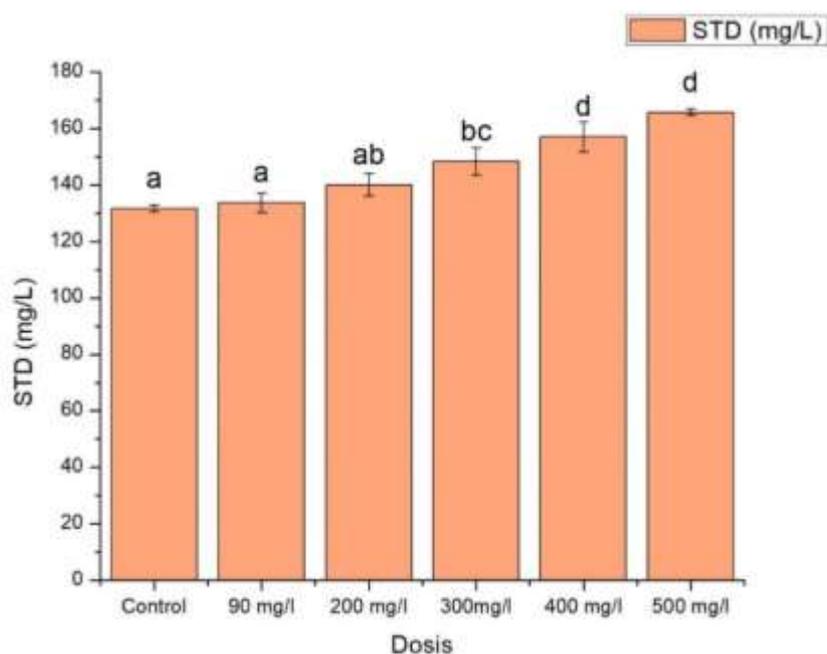


Figura 33. STD en función a dosis de *Hylocereus undatus*.

En la **Figura 33**, puede observarse una diferencia significativa entre las dosis, esto debido a que, al aplicar una mayor cantidad de dosis, los niveles de STD en la muestra fueron aumentando cada vez más, la muestra del control y la dosis de 90 mg/L no presentan diferencia significativa en comparación de las dosis de 200 a 500 mg/L.

Estos resultados comparados con los de Ismail et al. ^[98], utilizaron dosificaciones menores a los de nuestra investigación, obteniendo resultados de remoción de 69% y 65% de STD, cabe indicar que los autores en mención trabajaron con dos tipos de cáscaras, una fue DFPP y la otra DFPW, los autores en mención indicaron que la mejor dosis fue 90mg/L, por otra parte, en nuestra investigación se trabajó con el follaje de *Hylocereus undatus*, las concentraciones con las que trabajaron los autores ya mencionados fueron mucho menor a los que utilizamos en nuestra investigación, es por eso que, sus resultados se vieron menos favorables que los nuestros, además, su muestra fue de aguas residuales y la que utilizamos en la investigación fue una muestra de agua para consumo humano; cabe indicar que los niveles de STD en nuestra muestra no excedieron ningún valor según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano.

- Conductividad eléctrica

Tabla 20. Evaluación de la CE de *Hylocereus undatus*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (μS/cm)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	270.33 ± 11.53 ^a	0.57
90	mg/L	3	267.67 ± 3.06 ^a	1.14
200	mg/L	3	268.33 ± 5.69 ^a	2.12
300	mg/L	3	269.33 ± 0.58 ^a	0.21
400	mg/L	3	268.0 ± 7.55 ^a	2.82
500	mg/L	3	269.33 ± 0.58 ^a	0.21
Prueba	Estadístico		Valor -p	Interpretación
SW	0.8852		0.0313 ^S	DNN
LEV	1.5333		0.2515 ^S	NS
KW	1.3921 ⁴		0.9251 ⁷²	NS
ANOVA	0.18		0.9665	NS

DNN: Distribución no normal p <0.05 NS: No significativo p ≥ 0.05 S: Significativo p <0.05 ^aNo significativo

En la **Tabla 20**, se puede observar los resultados de la CE al aplicar el biofloculante *Hylocereus undatus*, según el resumen estadístico, se puede observar que no existió diferencia significativa entre el control y las dosis de (90, 200, 300, 400 y 500 mg/L); esto nos indica que si al aplicar una dosis de 500 mg/L el resultado será igual al de una menor dosis de 90 mg/L (ver **Figura 34**), además, con estos resultados podríamos indicar que el biofloculante no altera la CE en la muestra de agua para consumo humano, por otra parte, los valores obtenidos según el reglamento de calidad de agua para consumo humano no exceden ningún valor permitido.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de p < 0.05 mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 61**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 62**), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la conductividad eléctrica de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 63**), reportando

no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo la prueba de ANOVA (ver **Tabla 64**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando no hay una diferencia significativa.

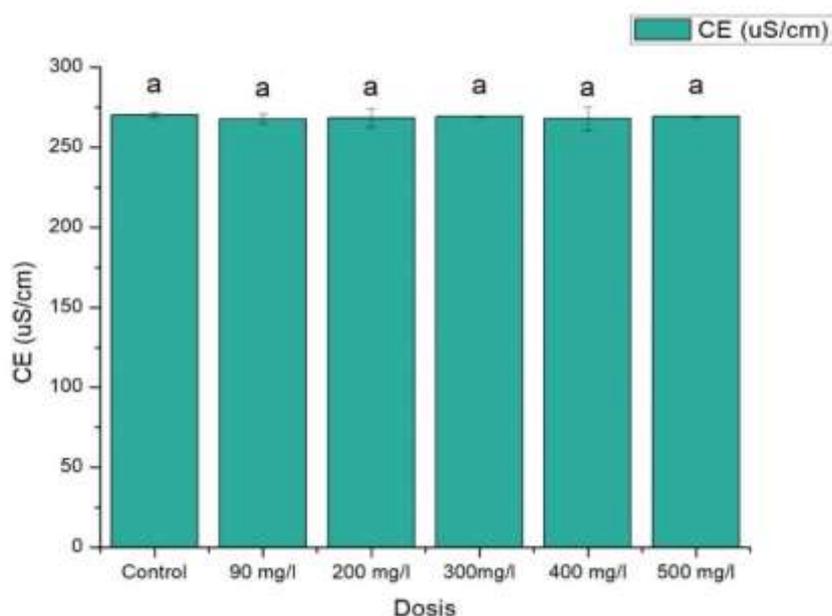


Figura 34. CE en función a dosis de *Hylocereus undatus*.

Al comparar nuestros resultados con el de Bautista ^[140], demostró que su mejor promedio de CE fue de 229,80 $\mu\text{S/cm}$, al utilizar harina a base de *Hylocereus megalanthus*, el autor indicó que su promedio cumple con la normativa vigente, además pudo verificar que al aplicar el biofloculante no hubo una variación significativa que haya afectado los niveles de iones disueltos en el agua, por otra parte, en nuestra investigación tampoco obtuvimos una variación significativa en nuestros resultados (ver **Tabla 20**), sin embargo, nuestros resultados comparados con las del autor muestra diferencias ya que utilizamos diferentes tipos de *Hylocereus*, pero tanto el autor en mención y en nuestra investigación usamos el mismo tipo de agua para consumo humano.

c) *Solanum tuberosum*

- Turbidez.

Tabla 21. Porcentajes de remoción de NTU con *Solanum tuberosum*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (%)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	32.39 ± 1.21 ^a	3.75
10	mg/L	3	97.85 ± 0.73 ^b	0.74
20	mg/L	3	97.19 ± 0.27 ^b	0.27
50	mg/L	3	97.50 ± 0.06 ^b	0.06
80	mg/L	3	97.25 ± 1.15 ^b	1.18
110	mg/L	3	97.09 ± 1.10 ^b	1.13

Prueba	Estadístico	Valor – p	Interpretación
SW	0.48455	0.0000000577	DNN
LEV	0.767142	0.59087	NS
KW	9.01861	0.108324	NS
ANOVA	2.84	0.0000	S

DNN: Distribución no normal p < 0.05 NS: No significativo p ≥ 0.05 S: Significativo p < 0.05

^{a b} Significativo

En la **Tabla 21**, se puede observar los resultados obtenidos al aplicar el biofloculante *Solanum tuberosum*, obteniendo el mayor porcentaje de 97.85 ± 0.73% a una dosis de 10 mg/L, por otra parte, al emplear las dosis de 20, 50, 80 y 110 mg/L se obtuvieron porcentajes similares de remoción de 97.19 ± 0.27%, 97.50 ± 0.06%, 97.25 ± 1.15%, 97.09 ± 1.10% respectivamente, y para el control solamente removió 32.39 ± 1.22%, según estos análisis podemos determinar que al aplicar cualquiera de estas dosis de 10, 20, 50, 80 y 110 mg/L, obtendremos altos porcentajes de remoción de 97%, esto también puede verse en la **Figura 35**.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk donde se obtuvo un valor de p < 0.05 mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 65**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 66**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia

estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la turbidez de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 67**), reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 68**), se determinando que el valor de $p < 0.05$ indica existe una diferencia significativa con respecto al control.

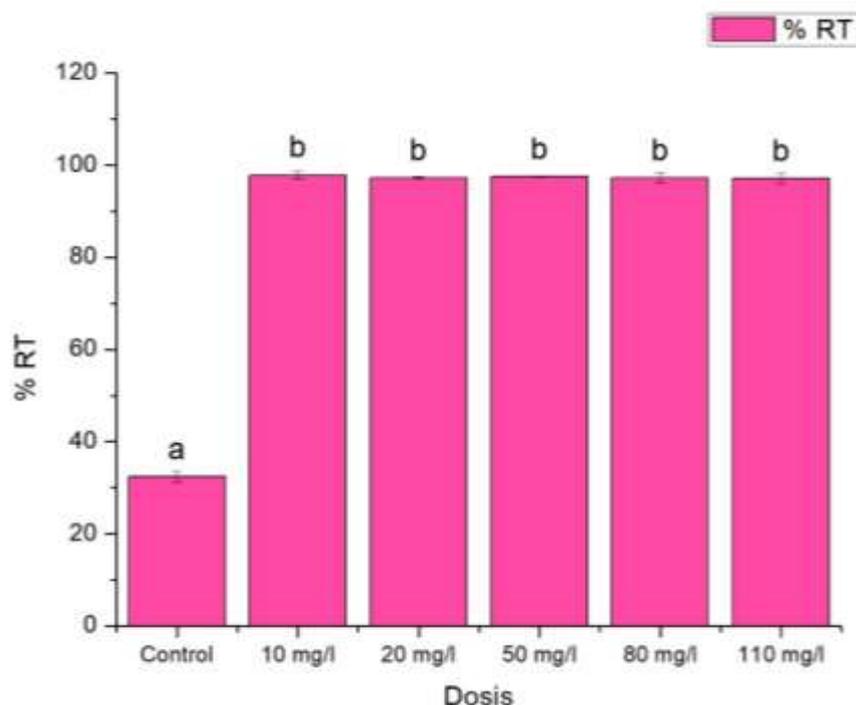


Figura 35. Porcentaje de la turbidez a dosis de *Solanum tuberosum*.

Estos resultados obtenidos, comparados con la investigación de Carrasquero et al. ^[141] mostraron porcentajes de remoción de solamente 81.32% al aplicar una dosis de 10 mg/L, sin embargo, cabe resaltar que los autores en mención trabajaron con una muestra de agua del río con una turbidez inicial de 59.60 NTU logrando reducir su nivel de turbidez hasta un 11.13 NTU, por otra parte, nuestra muestra fue agua para consumo humano con una turbidez inicial de 25 NTU, menor a la de los autores mencionados, además, se logró reducir la turbidez en nuestra investigación a 0.53 NTU, esto debido a que, los polímeros naturales presentes en la cáscara de *Solanum tuberosum* son una alternativa en los procesos de coagulación-floculación para remoción de partículas suspendidas, además una de las ventajas de estos polímeros naturales y sus derivados es que son biodegradables ^[142].

Por otra parte, en los resultados de Dávila et al. ^[11], evidenciaron que al aplicar una dosis de 37mg/L presentó una de las más altas remociones de turbiedad a un máximo de 94% con turbidez inicial de 46.7 NTU logrando disminuir hasta 5.02 NTU, cabe indicar que, los autores en mención trabajaron con una muestra de agua de una fuente superficial debido a que en los centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas los pobladores consumen agua de fuentes hídricas, por ende, este tipo de agua no recibe ningún tipo de tratamiento y al ser consumidos por los pobladores puede afectar su salud, por otra parte, nuestra muestra al ser agua para consumo humano mostró menor nivel de turbidez comparado con los de los autores ya mencionados, sin embargo, al analizar nuestra muestra antes de aplicar el tratamiento con los biofloculantes, obtuvimos que nuestra muestra de agua para consumo humano contenía aluminio a una concentración 0.51 mg/L (ver **Anexo VI**), según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano (ver **Anexo II**), éste excede el valor permitido, además, al aplicar nuestra mejor dosis de 10 mg/L, se logró remover este metal a 0.13 mg/L.

Adicionalmente en otras investigaciones utilizaron la cáscara de *Solanum tuberosum* en la remoción de aguas residuales ^[143] obteniendo un porcentaje de remoción del 98% a una dosis óptima de 0.2 gr.

- Sólidos Totales Disueltos

Tabla 22. Evaluación de STD aplicando *Solanum tuberosum*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (mg/L)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	130.33 ± 1.53 ^a	1.17
10	mg/L	3	124.33 ± 6.43 ^a	5.17
20	mg/L	3	127.0 ± 3.46 ^a	2.73
50	mg/L	3	128.0 ± 1.73 ^a	1.35
80	mg/L	3	129.0 ± 2.65 ^a	2.05
110	mg/L	3	128.67 ± 0.58 ^a	0.45
Prueba	Estadístico	Valor – p	Interpretación	
SW	0.7746	0.0004	DNN	
LEV	0.6082	0.6956	NS	
KW	5.186	0.3935	NS	
ANOVA	1.16	0.3831	NS	

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^aNo significativo

En la **Tabla 22**, se puede observar los resultados de STD al aplicar el biofloculante *Solanum tuberosum*, inicialmente se obtuvo un valor de 134 mg/L de STD, se observó que el mejor resultado fue a una dosis de 10 mg/L obteniendo 124.33 ± 6.43 mg/L, por otra parte, para las dosis de (20, 50, 80 y 100 mg/L) se obtuvo valores un poco más elevados de 127.0 ± 3.46 mg/L, 128.0 ± 1.73 mg/L, 129.0 ± 2.65 mg/L y 128.67 ± 0.58 mg/L, respectivamente, cabe indicar que, estos resultados se encuentran dentro de los valores permitidos según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 69**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 70**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre los STD de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 71**), reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de

ANOVA (ver **Tabla 72**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando que no hay una diferencia significativa.

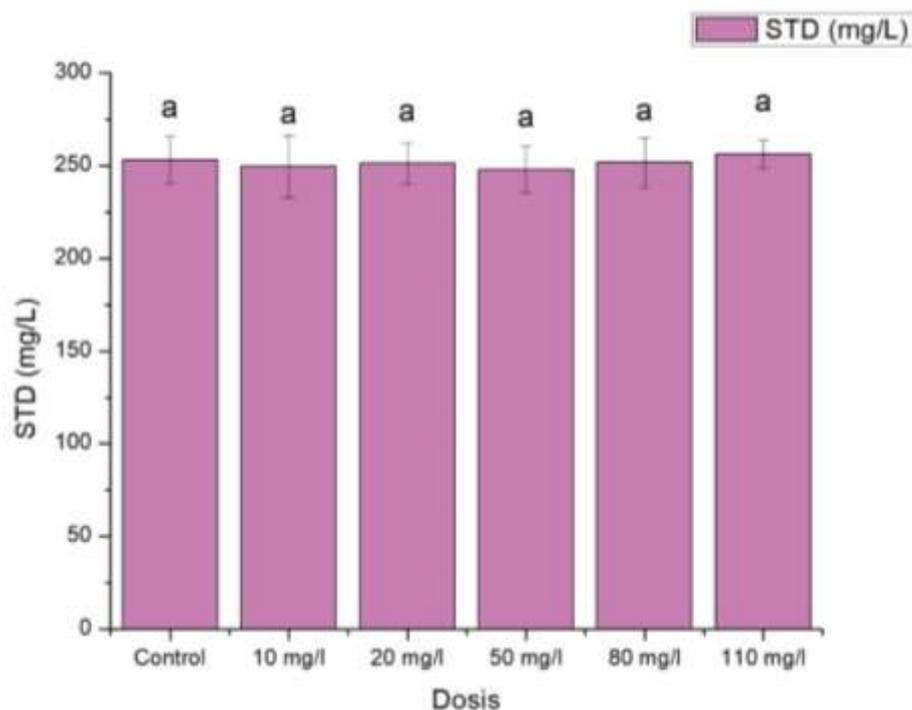


Figura 36. STD en función a dosis de *Solanum tuberosum*.

En la **Figura 36**, se puede observar que al aplicar cualquier dosis de 10 a 110 mg/L, no existe diferencia significativa con respecto al control, el biofloculante *Solanum tuberosum* no mostró variaciones en la concentración de STD, sin embargo Carrasquero et al. ^[141] obtuvieron una media y desviación estándar de 1000 ± 90 mg/L de las soluciones de su coagulante a partir de cáscara de *Solanum tuberosum*, por otra parte en nuestra investigación, no determinamos los valores de nuestras soluciones, sin embargo, si se determinó el promedio y desviación estándar de los resultados de nuestras muestras al aplicar este biofloculante.

- Conductividad eléctrica

Tabla 23. Evaluación de la CE de *Solanum tuberosum*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (μ S/cm)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	268.67 \pm 0.58 ^a	0.22
10	mg/L	3	262.0 \pm 2.65 ^a	1.01
20	mg/L	3	265.33 \pm 4.51 ^a	1.70
50	mg/L	3	267.0 \pm 3.46 ^a	1.30
80	mg/L	3	266.33 \pm 5.51 ^a	2.10
110	mg/L	3	267.33 \pm 6.43 ^a	2.41
Prueba	Estadístico		Valor – p	Interpretación
SW	0.8520		0.0080	DNN
LEV	0.4149		0.8295	NS
KW	3.518		0.6206	NS
ANOVA	0.85		0.5390	NS

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^aNo significativo

En la **Tabla 23**, se observa la evaluación de la CE aplicando el biofloculante *Solanum tuberosum*, en la **Tabla 73** indican que, en los estadísticos descriptivos no existió diferencia estadísticamente significativa ya que el valor-P es mayor que 0.05.

Estadísticamente, se realizó la prueba Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 73**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 74**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la conductividad eléctrica de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 75**), reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 76**) determinando que el valor de $p < 0.05$ indicando existe una diferencia significativa.

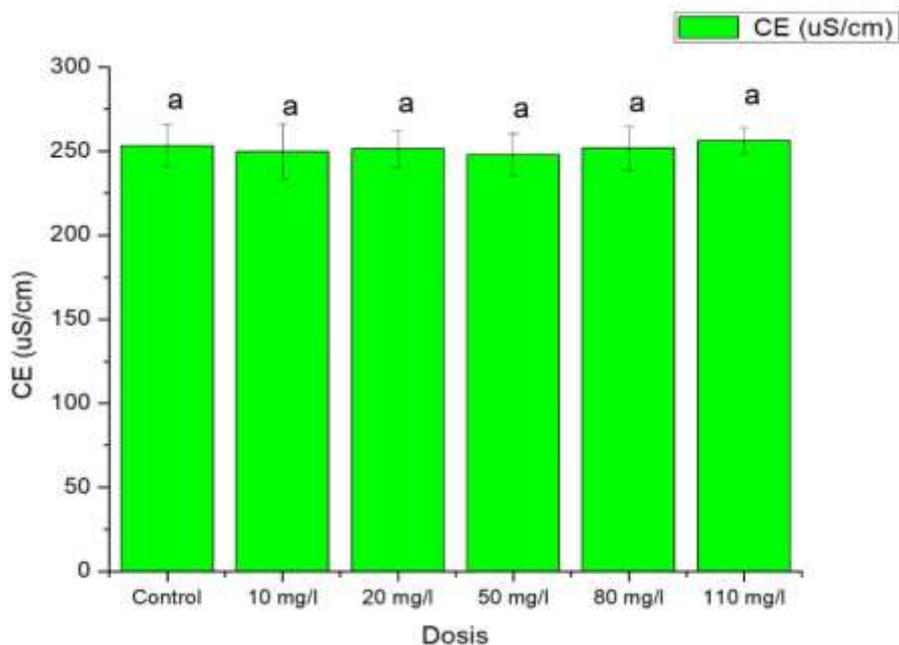


Figura 37. Conductividad eléctrica en función a dosis de *Solanum tuberosum*.

En la **Figura 37**, podemos observar que no existe una diferencia significativa con respecto al control, es decir, al aplicar cualquier dosis de 10, 20, 50, 80 y 110 mg/L, no varía la CE en la muestra de agua para consumo humano.

Investigaciones como la de Meza et al. ^[126], determinaron que los biofloculantes no alteran significativamente la conductividad.

d) Determinación de la mezcla de dosis óptima de la solución de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*

- Turbidez

Tabla 24. Porcentaje de remoción de NTU de la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (%)	Coefficiente de Variación %
Control	mg/L	3	33.07 ± 1.01 ^a	3.04
10/50	mg/L	3	86.96 ± 5.26 ^b	6.05
20/40	mg/L	3	90.6 ± 1.57 ^b	1.74
30/30	mg/L	3	90.2 ± 1.15 ^b	1.27
40/20	mg/L	3	90.24 ± 2.28 ^b	2.53
50/10	mg/L	3	91.63 ± 0.55 ^b	0.61
Prueba	Estadístico		Valor – p	Interpretación
SW	0.5418 ²⁴		0.0000 ^{0.05}	DNN
LEV	1.1925		0.3687 ⁸	NS
KW	10.3616		0.0656 ¹⁵	NS
ANOVA	256.63		0.0000	S

DNN: Distribución no normal p <0.05 NS: No significativo p ≥ 0.05 S: significativo p <0.05 ^{a b} significativo

En la **Tabla 24**, se muestra los resultados de los porcentajes de remoción de turbidez (NTU) aplicando una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*, el mejor porcentaje obtenido fue al agregar una dosis de 50/10 mg/L, respectivamente, logrando remover 91.63 ± 0.55%; estos resultados fueron comparados con Padilla et al. ^[144], ya que trabajaron con los mismo biofloculantes (*Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*), donde obtuvieron un alto porcentaje de remoción de turbidez al aplicar una dosis de 1.25 mg/L de almidón de papa y 5 mg/L del mucílago de *Opuntia ficus*, removiendo el 96.29% de turbiedad, por otra parte, el porcentaje más elevado en nuestra investigación fue al aplicar una dosis de 50/10 mg/L de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* respectivamente, al analizar las dosis de los autores ya mencionados y los que aplicamos en nuestra investigación, podemos observar que su dosaje fue mínimo, y su porcentaje de remoción fue bastante alto, cabe indicar, que su turbidez inicial fue de 19 NTU y su muestra de agua fue de una fuente superficial, por otra parte, nuestra muestra de agua para consumo humano tuvo una turbidez inicial de 25 NTU.

Otros resultados como los de Gandiwa et al. ^[145], sus mejores porcentajes de remoción de turbidez al utilizar una mezcla de Aluminio, *Moringa oleifera* y cactus *Opuntia* fueron del 92.3%, estos resultados no son muy lejanos al de nuestra investigación; los autores en mención antes de realizar las mezclas evaluaron de forma individual cada uno de los biofloculantes y coagulante químico, estos autores mencionan que cada uno de los coagulantes presentan atributos deseables que se complementan entre sí, como una variación en los mecanismos de coagulación, la combinación de estos mejora la fuerza del coagulante, por otra parte, cabe indicar que su muestra de agua fue de una fuente superficial con una turbidez inicial de 29 NTU y nuestra muestra fue un tipo de agua para consumo humano con una turbidez inicial de 25 NTU, como se puede observar los niveles de turbidez no se muestran muy alejados, por eso, es probable que los porcentajes de remoción también fueron casi similares ya que los niveles de turbidez no eran tan elevados.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 77**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 78**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 , indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la turbidez de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 79**), reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 80**) determinando que el valor de $p < 0.05$ indicando existe una diferencia significativa; por lo tanto, se identifica que la dosis de la mezcla de biofloculantes, *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*, influye sobre la turbidez del agua de estudio.

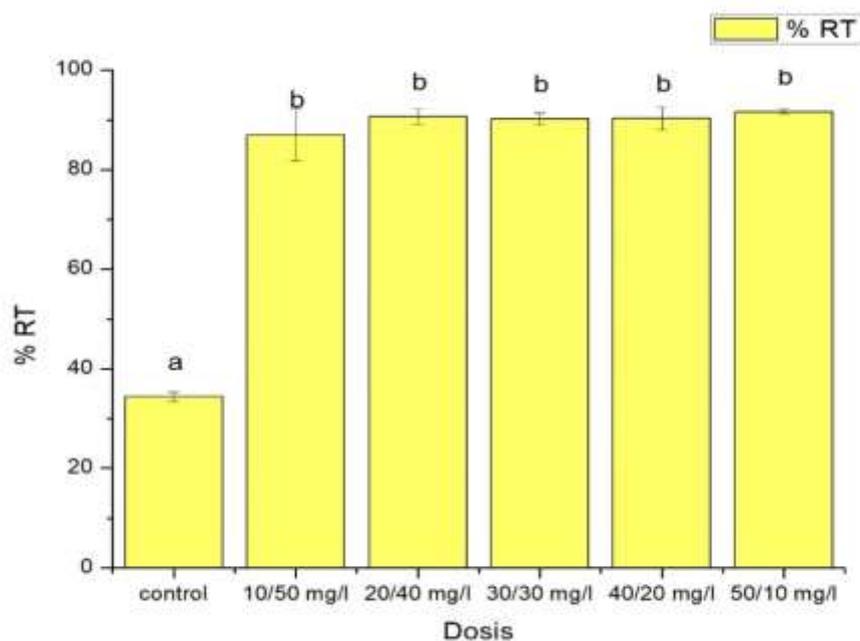


Figura 38. Porcentaje de remoción en función a diferentes dosis de la mezcla *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

En la **Figura 38**, se puede observar que, no hay una diferencia significativa con respecto al control, debido a que, al aplica cualquier dosis de 10/50, 20/40, 30/30, 40/20 y 50/10 mg/L, se da una remoción de turbidez en el agua.

En otra investigación, Olivero et al. ^[146], evaluaron las mezclas de *Opuntia ficus indica* y *Moringa oleifera*, donde su turbidez inicial fue de 362 NTU y su muestra que evaluaron fue de una fuente superficial; sus resultados mostraron que la mezcla de ambos biofloculantes no muestran porcentajes mayores al 85%, los autores en mención indican que no lograron remover la turbidez suficiente para lograr cumplir con la normativa colombiana, por otra parte, en nuestra investigación si se logró un porcentaje mayor al 90%, reduciendo la turbidez inicial de 25 NTU a 2.09 NTU, lo cual es un valor permitido según el reglamento de calidad de agua para consumo humano.

- Sólidos totales disueltos

Tabla 25. Evaluación de STD aplicando la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (mg/L)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	121.67 \pm 2.51 ^a	2.07
10/50	mg/L	3	115.67 \pm 6.11 ^a	5.28
20/40	mg/L	3	116.33 \pm 4.93 ^a	4.24
30/30	mg/L	3	113.67 \pm 4.05 ^a	3.56
40/20	mg/L	3	117.0 \pm 5.29 ^a	4.52
50/10	mg/L	3	110.33 \pm 4.16 ^a	3.77
Prueba	Estadístico		Valor – p	Interpretación
SW	0.9524	23	0.4636	DN
LEV	0.6108		0.6938	NS
ANOVA	1.96		0.1576	NS

DN: Distribución normal $p \geq 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^a No significativo

En la **Tabla 25**, se muestra los estadísticos descriptivos para los sólidos totales disueltos en la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*, encontrando para el control una remoción de STD de 121.6 ± 2.51 mg/L mientras que la dosis 5 se obtuvo una mayor remoción de sólidos totales disueltos de 117 ± 5.29 mg/L, cabe indicar que, los niveles de STD en nuestra muestra de agua para consumo humano, no exceden los valores según el reglamento de calidad de agua para consumo humano.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p \geq 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (ver **Tabla 81**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 82**), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 83**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando no hay una diferencia significativa entre los tratamientos.

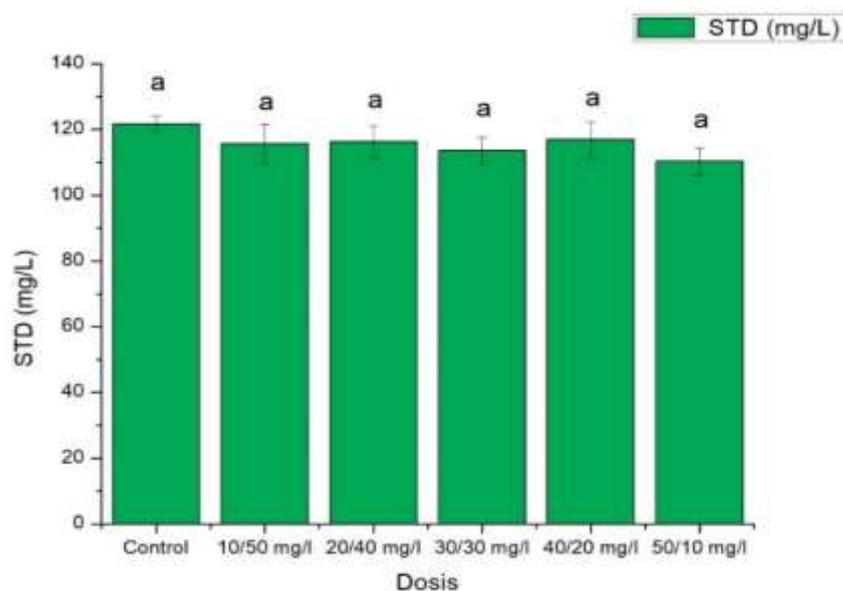


Figura 39. STD en función a dosis de la mezcla *Opuntia ficus* y *Solanum tuberosum*.

Según la **Figura 39**, podemos observar que no existe ninguna diferencia significativa entre los tratamientos de 10/50 mg/L; 20/40 mg/L, 30/30 mg/L, 40/20 mg/L y 50/10 mg/L con respecto al control, esto nos indica que, al aplicar cualquier dosis, no se observa ninguna variación de los STD en cada uno de los tratamientos con respecto al control.

Estos resultados en comparación a los de Manayay et al. ^[147] removieron sus STD hasta un 95,8% utilizando una mezcla de 1.5 g de *Opuntia ficus indica* y 900 mL de *Echinopsis pachanoi*, disminuyendo STD hasta 10.6 mg/L, donde obtuvieron un concentración inicial de STD de 254.6 mg/L, es decir, removió 244 mg/L de STD, sin embargo, en comparación con nuestro trabajo de investigación, al emplear una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* en una muestra de agua para consumo humano en el distrito de Samegua, se obtiene mejores resultados de remoción al aplicar una dosis de mezcla de 30/30 mg/L de los biofloculantes, donde se removió valores iniciales de sólidos totales disueltos de 134 mg/L a valores finales de 117 mg/L, los valores de sólidos totales disueltos en nuestro trabajo representan un valor aceptable dentro del Reglamento para calidad de consumo de agua establecido en el D.S 031-2010 que tiene como valor aceptable 1000 mg/L.

- Conductividad eléctrica

Tabla 26. Evaluación de CE en función a la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus indica*.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio \pm DE (μ S/cm)	Coefficiente de Variación %
Control	mg/L	3	246.00 \pm 15.01 ^a	3.61
10/50	mg/L	3	246.33 \pm 6.11 ^a	6.09
20/40	mg/L	3	257.67 \pm 16.50 ^a	2.37
30/30	mg/L	3	246.33 \pm 3.21 ^a	6.70
40/20	mg/L	3	252.33 \pm 12.53 ^a	1.27
50/10	mg/L	3	250.0 \pm 8.87 ^a	5.01

Prueba	Estadístico	Valor-P	Interpretación
SW	0.5418	0.1383	DN
LEV	0.4556	0.8017	NS
ANOVA	0.49	0.7762	NS

DNN: Distribución normal $p \geq 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^aNo significativo

En la **Tabla 26**, se muestra los estadísticos descriptivos para la CE en la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*, encontrando para el control una CE de $246 \pm 15.01 \mu$ S/cm mientras que la dosis de mezcla de 20/40 mg/L reportó promedios de mayor CE de $257.67 \pm 16.50 \mu$ S/cm, sin embargo, cabe indicar que, los resultados obtenidos no exceden ningún valor de CE, según el reglamento de calidad de agua para consumo humano.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una distribución normal (ver **Tabla 84**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 85**), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 86**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando no hay una diferencia significativa.

En el presente proyecto de investigación, se pudo determinar que al emplear una dosis de 20/40 mg/L de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* mg/L, respectivamente, se obtiene una mayor CE, es decir, mientras mayor sea la CE existirá mayor cantidad de partículas que reaccionen y mejoren el proceso de coagulación. [148]

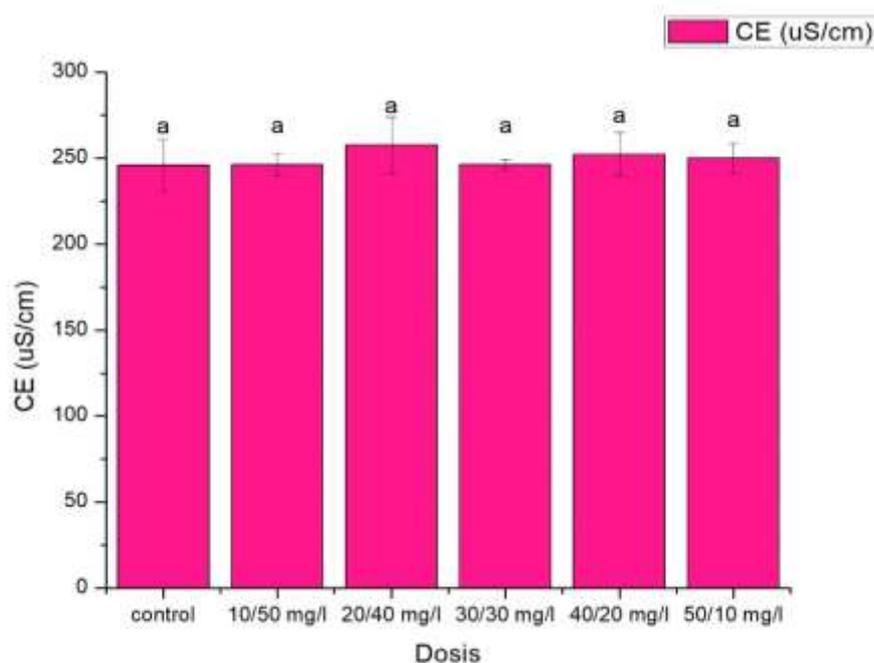


Figura 40. CE en función a dosis de la mezcla *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Según la **Figura 40**, se puede observar que no existe diferencia significativa de los tratamientos con respecto al control, es decir, no se observa ninguna disminución o alteración de la CE al aplicar los tratamientos de 10/50, 20/40, 30/30, 40/20 y 50/10 mg/L.

Se realizó una comparación con la investigación de Gandiwa et al. [145] donde al emplearon una dosis total de 45/45 mg/L de la mezcla de coagulante naturales de origen vegetal (Extracto de *Cactus Opuntia* y *Moringa oleífera*) y un coagulante químico (sulfato de aluminio o alumbre) en el tratamiento de agua cruda reportando que la CE aumentó a medida que aumentaba la dosis del coagulante obteniendo valores finales de 308 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores más elevados al de nuestra investigación donde se tuvo que la CE de la muestra de agua sin tratar fue inicialmente de 298 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por otra parte, en nuestro proyecto de investigación se trabajó con una mezcla de dos biofloculantes (*Opuntia ficus* y *Solanum tuberosum*) obteniendo mayores niveles de CE al emplear una dosis de mezcla de 20/40 mg/L.

e) **Determinación de la mezcla de dosis óptima de la solución de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio**

- Turbidez.

Tabla 27. Porcentaje de remoción de NTU de la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio por triplicado.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (%)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	38.13 ± 1.80 ^a	4.73
10/30	mg/L	3	88.29 ± 1.10 ^b	1.25
10/20	mg/L	3	86.99 ± 1.75 ^b	2.01
10/10	mg/L	3	83.95 ± 2.59 ^b	3.09
10/5	mg/L	3	85.28 ± 1.81 ^b	2.12
10/2	mg/L	3	86.48 ± 2.96 ^b	3.42
Prueba	Estadístico		Valor – p	Interpretación
SW	0.570925		0.000000002	DNN
LEV	0.326558		0.887393	NS
KW	10.82		0.055	NS
ANOVA	265.41		0.0000	S

DNN: Distribución no normal p < 0.05 NS: No significativo p ≥ 0.05 S: Significativo p < 0.05^a ^bsignificativo.

En la **Tabla 27**, se muestra los estadísticos descriptivos para el porcentaje de remoción de la turbidez (NTU) en la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, encontrando para el control un porcentaje de remoción de 38.13 ± 1.80% mientras que al aplica una dosis de 10/30 mg/L de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, respectivamente, se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de 88.29 ± 1.10%; se hizo la comparación con los estudios de Ynofuente et al. [123], donde reportaron una remoción de turbidez de 97.87% aplicando una mezcla de sulfato de aluminio y una variedad roja de papa de 35/30 mg/L, logrando disminuir su turbidez inicial de 40 NTU a un valor final de 0.85 NTU, en otros de sus resultados demostró que, la variedad de imilla negra de papa presentó un 97.74% de remoción de turbidez con un valor final de 0.90 NTU al emplear una dosis de la mezcla de 35/35 mg/L mientras que para la variedad blanca se reportaron un 95.71% y un valor final de turbidez de 1.72 NTU al aplicar una dosificación de la mezcla de 35/35 mg/L.

Por otra parte, en nuestra investigación aplicamos la dosis de 10 mg/L de *Solanum tuberosum* ya que al trabajar de forma individual se observaron porcentajes mayores a 97%, sin embargo, los autores en mención encontraron mejores porcentajes a dosis de 30 y 35 mg/L de *Solanum tuberosum* y para el sulfato de aluminio valores de 35 mg/L; durante nuestra investigación se decidió usar dosis menores a 30 mg/L, ya que nuestra muestra de agua apta para consumo humano contenía aluminio (ver **Anexo VI**) fuera de los valores permitidos según el reglamento de calidad de agua para consumo humano.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 87**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 88**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la turbidez de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 89**) reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 90**) determinando que el valor de $p < 0.05$ indicando existe una diferencia significativa.

El biofloculante de cáscaras de *Solanum tuberosum* produce remociones altas de turbidez por su composición de gran cantidad de almidón que se estructura de dos cadenas de polímeros donde las partículas coloidales del agua de estudio sin tratar se adhieren en uno o dos más puntos de estos polímeros generando la formación de flóculos de mayor tamaño y precipitando fácilmente ^[141], así mismo, que en combinación con el coagulante químico sulfato de aluminio se reporta altos porcentajes de remoción entre 80-90%.

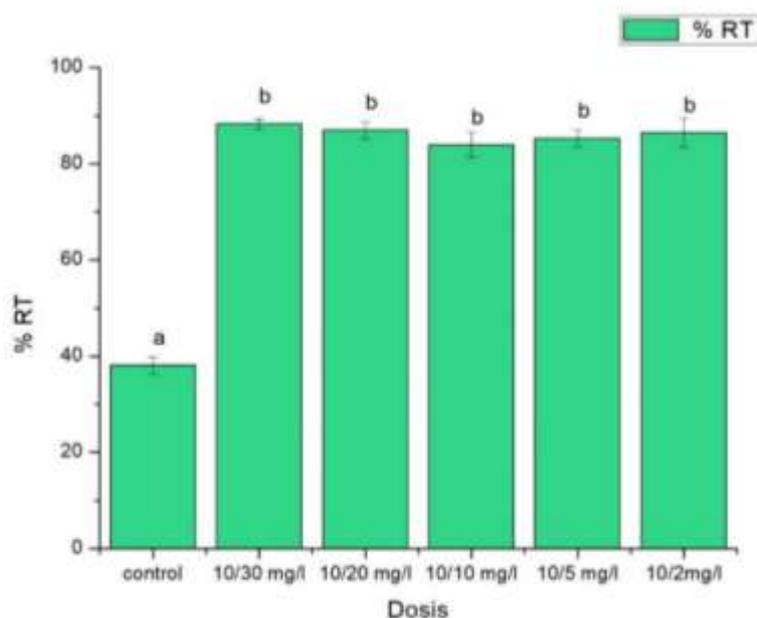


Figura 41. Remoción de turbidez en función a diferentes dosis de la *mezcla Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Según la **Figura 41**, podemos observar que los tratamientos tuvieron diferencia significativa con respecto al control, sin embargo, también puede observarse que, al aplicar cualquiera de las dosis de 10/30, 10/20, 10/10, 10/5 y 10/2 mg/L se observa casi un porcentaje similar entre todos los tratamientos, por lo que, podríamos utilizar una dosis de 10/2 mg/L de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio respectivamente.

Estos resultados fueron comparados con los de Alvarado ^[149], donde trabajó con 3 diferentes tratamientos entre mezclas de *Solanum tuberosum* /sulfato de aluminio en proporciones de 25% (tratamiento 1), *Solanum tuberosum* /sulfato de aluminio un 50% para un tratamiento 2 y un 100% de cáscaras de *Solanum tuberosum* para el tratamiento, cabe indicar que la muestra de agua que utilizó fue una muestra de agua superficial con un valor inicial de turbidez de 2 NTU, muy diferente a nuestra turbidez inicial de 25 NTU siendo nuestra muestra: agua para consumo humano; el autor en mención logró remover una turbidez menor a 2 NTU, por otra parte, en nuestra investigación se logró remover hasta 2.93 NTU, según el reglamento de calidad de agua apta para consumo humano, este valor no excede el valor permitido.

- Sólidos totales disueltos

Tabla 28. Evaluación de STD aplicando la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (mg/L)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	128.33 ± 1.15 ^a	0.90
10/30	mg/L	3	126.67 ± 4.04 ^a	3.19
10/20	mg/L	3	127.67 ± 2.31 ^a	1.81
10/10	mg/L	3	126.67 ± 2.08 ^a	1.64
10/5	mg/L	3	128.33 ± 3.06 ^a	2.38
10/2	mg/L	3	127.67 ± 2.08 ^a	1.63
Prueba	Estadístico	Valor – p	Interpretación	
SW	0.8875 ⁴⁵	0.0344 ⁶	DNN	
LEV	0.1957 ²⁹	0.9581 ¹³	NS	
KW	1.3667	0.9279 ²	NS	
ANOVA	0.25	0.9333	NS	

DN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^a No significativo

En la **Tabla 28**, se muestra los estadísticos descriptivos para los sólidos totales disueltos en la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, encontrando para el control, una remoción de sólidos totales disueltos de 128.33 ± 1.15 mg/L, así mismo, valores de promedio iguales en las dosis de mezcla de 10/30 y 10/10 mg/L de 127.67 mg/L, similarmente ocurre en las dosis de 10/20 y 10/2 mg/L con una remoción de 126.67 mg/L mientras que en la dosis de mezcla 10/5 mg/L se obtuvo una mayor remoción de sólidos totales disueltos de 128.33 ± 3.06 mg/L.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, donde se obtuvo un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 91**), luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 92**) se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre los STD de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 93**) reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 94**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando no hay una diferencia significativa.

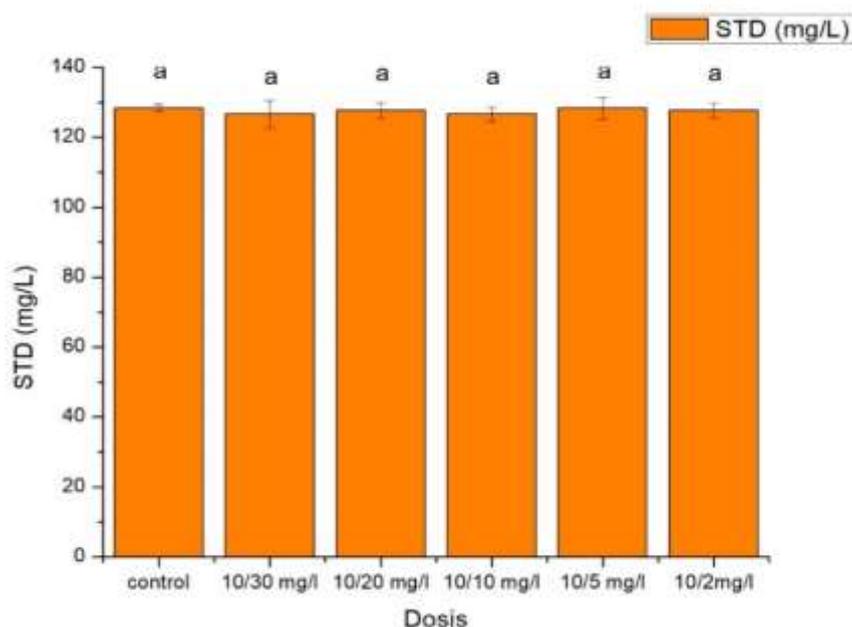


Figura 42. STD en función a dosis de la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

En la **Figura 42**, se puede observar que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos y el control, además podemos decir que al aplicar una dosis de (10/30, 10/20, 10/10, 10/5 y 10/2 mg/L), *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio respectivamente, no se observa ninguna disminución de los STD y tampoco una alteración entre éstas, sin embargo cabe resaltar que nuestros resultados mostrados en la **Tabla 28**, no exceden los STD según el reglamento de calidad de agua para consumo humano.

- Conductividad eléctrica

Tabla 29. Evaluación de CE en función a la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Recuento	Promedio ± DE (µS/cm)	Coefficiente de variación (%)
Control	mg/L	3	257.33 ± 2.08 ^a	0.81
10/30	mg/L	3	253.0 ± 7.94 ^a	3.14
10/20	mg/L	3	255.0 ± 4.58 ^a	1.80
10/10	mg/L	3	254.0 ± 4.58 ^a	2.07
10/5	mg/L	3	256 ± 5.29 ^a	1.59
10/2	mg/L	3	254.67 ± 4.04 ^a	1.76
Prueba	Estadístico		Valor – p	Interpretación
SW	0.879707		0.0249	DNN
LEV	0.3028		0.9019	NS
KW	1.0155		0.9613	NS
ANOVA	0.27		0.9205	NS

DNN: Distribución no normal $p < 0.05$ NS: No significativo $p \geq 0.05$ ^a No significativo

En la **Tabla 29**, se muestra los estadísticos descriptivos para la CE en la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, encontrando para el control, una CE de $257.33 \pm 5.67 \mu\text{S/cm}$, seguidamente, en la dosis de mezcla de 10/30 mg/L, se obtuvo el menor de promedio de CE de $253.0 \pm 7.94 \mu\text{S/cm}$, así mismo se reportó valores promedios de CE en 10/10, 10/2 y 10/20 mg/L de $254.0 \pm 4.58 \mu\text{S/cm}$, $254.67 \pm 4.04 \mu\text{S/cm}$ y $255.0 \pm 4.58 \mu\text{S/cm}$, respectivamente, mientras, que la dosis de mezcla de 10/5 mg/L se obtuvo una mayor conductividad de $256 \pm 5.29 \mu\text{S/cm}$.

Estadísticamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk se tuvo en nuestros datos evaluados un valor de $p < 0.05$ mostrando que los tratamientos presentaron datos con una ausencia de distribución normal (ver **Tabla 95**) luego en la prueba de Levene (ver **Tabla 96**), se observó una igualdad de varianzas entre los tratamientos debido a que el valor p es ≥ 0.05 indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, finalmente, para evaluar la diferencia entre la CE de los tratamientos se realizó la prueba de Kruskal Wallis (ver **Tabla 97**) reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos por presentar un valor de $p \geq 0.05$, finalmente para evaluar la significancia de los datos se llevó a cabo una prueba de ANOVA (ver **Tabla 98**) determinando que el valor de p es ≥ 0.05 indicando no hay una diferencia significativa.

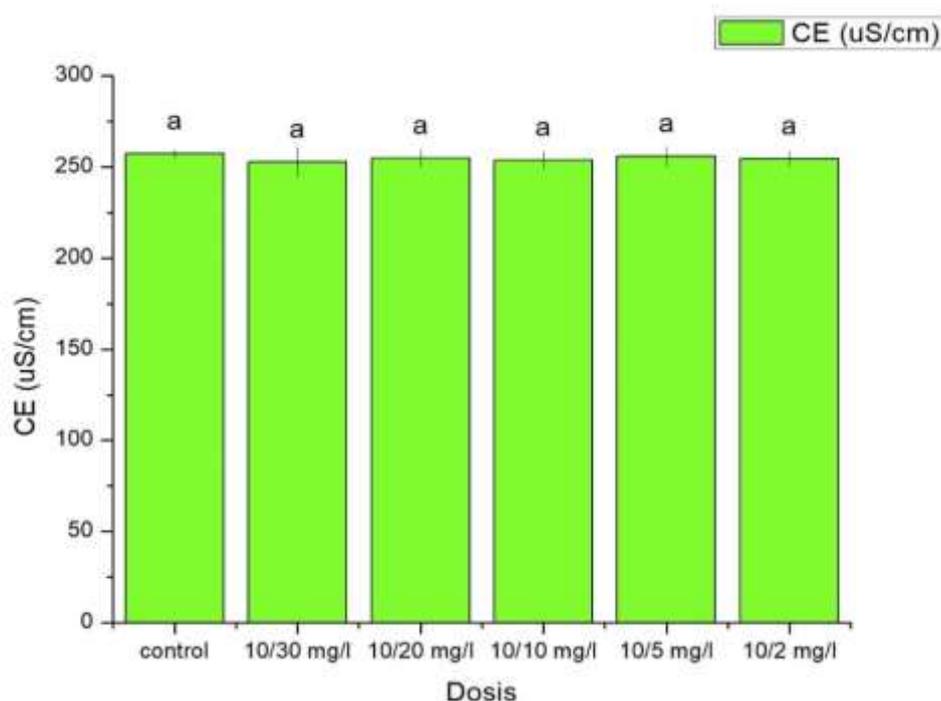


Figura 43. CE en función a la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

En la **Figura 43**, podemos observar que los tratamientos con *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, no tuvieron diferencia significativa con respecto al control, esto nos indica que al aplicar dosis de 10/30, 10/20, 10/10, 10/5 y 10/2 mg/L, *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio respectivamente, los niveles de CE no varían significativa, en otras investigaciones como las de Meza et al. ^[126], determinaron que los biofloculantes no alteran significativamente la conductividad.

Luego de evaluar la eficiencia de los biofloculantes, se determinó que *Solanum tuberosum* fue el biofloculante con mayor capacidad de remoción de turbidez, por lo que, se realizó una caracterización fisicoquímica de la muestra de agua para consumo humano ya tratada con la dosis óptima de 10 mg/L.

En la **Tabla 30**, se muestra detalladamente las características finales de la muestra de agua para consumo humano ya tratada con un biofloculante a base de *Solanum tuberosum*, se caracterizó de manera fisicoquímica, evaluando los parámetros de: turbidez, SST, STD, sólidos totales, pH y conductividad.

Tabla 30. Parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua para consumo humano tratada con un biofloculante a base de *Solanum tuberosum*.

Parámetro	Unidad de medida	Valor obtenido	Valor permitido*
pH	Adimensional	7.5	6.5-8.5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	<1	-
Sólidos totales disueltos	milig por litro (mg/L)	124	1000
Sólidos totales	milig por litro (mg/L)	14	-
Conductividad	microSiemens (μ S/cm)	268	1500
Turbidez	Unidades nefelométricas de Turbiedad (NTU)	0.53	5
Cloro total	mg/L	<0.02	5
Cloro libre	mg/L	<0.02	>0.5

*Valores establecidos en el reglamento de la calidad de agua D.S. 031-2010.

Según los valores reportados en la **Tabla 8**, se hizo la comparación con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano, D.S. 031-2010 ^[3], obteniendo que todos se encuentran dentro del rango de los valores permitidos (ver **Anexo VIII**). Anteriormente, en el análisis de nuestra muestra de agua sin tratamiento (ver **Anexo IV**) los parámetros que excedían los valores según la normativa vigente con lo reglamentado ^[3], fue la turbidez que sobreexcedía a 25 NTU, indicando un valor no aceptable dentro del reglamento de agua para consumo humano (5 NTU), sin embargo, en este último análisis de la muestra aplicando un tratamiento del biofloculante *Solanum tuberosum*, se observó que los niveles de turbidez se redujeron de un valor de 25 NTU hasta un valor final de 0.53 NTU además se tuvo una disminución de sólidos totales de 14 mg/L en comparación con el análisis sin tratamiento que fue de 222 mg/L.

Según la **Tabla 31**, concentraciones de metales se encuentran dentro de los valores permitidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano, DS 031-2010 (ver **Anexo IX**), en comparación con los resultados iniciales de la muestra de agua sin tratamiento los niveles de concentración del aluminio sobrepasaban los valores permitidos, sin embargo, al aplicar un tratamiento con el biofloculante *Solanum tuberosum* se redujo concentraciones de aluminio de 0.53 mg/L a 0.13 mg/L.

En otras investigaciones como las de Nand et al. ^[150] mostraron resultados utilizando semillas de *Moringa*, logrando remover metales pesados en comparación a otras semillas, obteniendo porcentajes de remoción para cobre, plomo y cadmio de 90%, 80% y 60% respectivamente y finalmente 50% para zinc y cromo, estos resultados comparados con nuestra investigación fueron diferentes ya que, nuestra muestra fue de agua para consumo humano y la de los autores en mención fue de agua potable, las muestras de agua fueron relativamente similares, sin embargo, al ser agua potable, éste pasa por varios procesos para que pueda ser considerada apta para consumo humano, por otra parte, nuestra muestra de agua pasó por un servicio de saneamiento que solo lleva a cabo un tratamiento parcial de desinfección.

Por otra parte, Nharingo et al. ^[151], usó el polvo de *Opuntia ficus* en la eliminación de metales pesados en su muestra de agua superficial, obteniendo una remoción de 100 % (Pb), 85.74 % (Zn), 84.16 % (Cd) así mismo una remoción de 93.02 % (Cu), en condiciones óptimas. Caracterizó el polvo mediante un espectrómetro infrarrojo, estableciendo en su composición química, ácido poligalacturónico, los autores en mención informan que éste ingrediente activo proporciona la capacidad de coagulación del mucílago de *Opuntia ficus indica* así mismo la presencia de polisacáridos en la remoción de iones de Pb (II) de solución acuosa, en comparación con nuestro estudio, al aplicar una dosis óptima del biofloculante de *Solanum tuberosum* en una muestra de agua para consumo humano se logró remover más del 50% el exceso de aluminio, en este caso por la presencia de almidón en su composición.

Tabla 31. Metales totales de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua después del tratamiento.

Metal	Agua para consumo humano M -1	Unidad de medida	Valor permitido
Ag (Plata)	<0.00005	mg/L	*
Al (aluminio)	0.13	mg/L	0.2
As (Arsénico)	0.00249	mg/L	0.01
B (Boro)	0.364	mg/L	1.5
Ba (Bario)	0.0292	mg/L	0.7
Be (Berilio)	<0.00002	mg/L	*
Bi (Bismuto)	<0.00001	mg/L	*
Ca (Calcio)	31.25	mg/L	*
Cd (Cadmio)	0.00002	mg/L	0.003
Ce (Cerio)	0.00016	mg/L	*
Co (Cobalto)	0.00006	mg/L	*
Cr (Cromo)	0.00060	mg/L	0.05
Cs (Cesio)	0.00007	mg/L	*
Cu (Cobre)	0.005	mg/L	2
Fe (Hierro)	0.067	mg/L	0.3
Hg (Mercurio)	<0.0005	mg/L	0.001
K (Potasio)	3.60	mg/L	*
Li (Litio)	0.01270	mg/L	*
Mg (Magnesio)	4.31	mg/L	*
Mn (Manganeso)	0.0042	mg/L	0.4
Mo (Molibdeno)	0.0018	mg/L	0.07
Na (Sodio)	17.41	mg/L	200
Ni (Niquel)	0.0007	mg/L	0.02
P (Fósforo)	0.07	mg/L	*
Pb (Plomo)	0.0003	mg/L	0.01
Sb (Antimonio)	0.0002	mg/L	0.02
Se (Selenio)	<0.0001	mg/L	0.01
Si (Silicio)	15.84	mg/L	*
Sn (Estaño)	<0.0001	mg/L	*
Sr (Estroncio)	0.1882	mg/L	*
Ti (Titanio)	0.0029	mg/L	*
Tl (Talio)	0.00004	mg/L	*
U (Uranio)	0.00023	mg/L	*
V (Vanadio)	0.0025	mg/L	*
Zn (Zinc)	0.010	mg/L	3

*Metales que no se encuentran en el humano del reglamento de la calidad del agua para consumo.

CONCLUSIONES

- Al caracterizar fisicoquímicamente los parámetros de la muestra de agua se tuvo como turbidez inicial 25 NTU, 134 mg/L de sólidos totales disueltos y 268 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, también se realizó un análisis de metales, el cual presentó una elevada concentración de aluminio, de 0.51 mg/L, concluyendo que los parámetros de turbidez y concentración de metales, no cumplieron con los valores establecidos según el reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S 031-2010 puesto que la turbidez no puede sobrepasar los 5 NTU y la concentración de aluminio no debe exceder una concentración de 0.2 mg/L.
- En la obtención de biofloculantes, se obtuvo un mayor rendimiento total del proceso en cáscaras de *Solanum tuberosum* de 6.28%, mientras que un menor rendimiento en *Hylocereus undatus* y *Opuntia ficus indica* de 2.38% y 0.68% respectivamente, esto se explica, por la presencia de un mayor contenido de humedad en su composición, en cuanto a ello, también se determinaron porcentajes de humedad teniendo un mayor porcentaje en *Opuntia Ficus* (73.84%), seguidamente *Hylocereus undatus* (81.58%) y un menor porcentaje de humedad en *Solanum tuberosum* (34.74%)
- *Solanum tuberosum* obtuvo un mayor porcentaje de remoción de turbidez de (97.85%), seguido de *Opuntia ficus indica* (97.37%) y *Hylocereus undatus* con un (85.04%), por otra parte, en la mezcla de los biofloculantes *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* a una dosis de 50/10 mg/L se obtuvo un porcentaje de remoción de 91.79%, sin embargo, al realizar la mezcla con *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, se obtuvo un porcentaje de remoción de 86.29% al emplear una dosis de 10/ 30 mg/l.

RECOMENDACIONES

- Realizar en futuras investigaciones, un análisis microbiológico de la muestra de estudio para determinar los coliformes totales con el fin de evaluar y mejorar la calidad microbiológica del agua destinada al consumo humano.
- Llevar a cabo un análisis de la composición química de *Opuntia ficus*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum* (proteínas, carbohidratos y cenizas) y una evaluación para determinar la estructura y cuantificación de los polímeros presentes que favorecen el proceso de coagulación-floculación mediante espectroscopía infrarrojo con transformadas de Fourier.
- Evaluar el desempeño de *Opuntia ficus*, *Hylocereus undatus* y *Solanum tuberosum* y/o mezclas entre ellos empleando otras dosis en combinación con sulfato de aluminio u otros coagulantes químicos utilizados para clarificación o tratamientos de agua para determinar la mejor capacidad floculante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SUNASS. Análisis de la calidad del agua potable en las empresas prestadoras del Perú: 1995-2003 [Internet]. 2004. Available from: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/Jica-2003.pdf>
2. INEI. Departamento Tacna: población total proyectada al 30 de junio y ubicación geográfica de la capital legal del distrito, 2017 [Internet]. 2017. Available from: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1420/cuadros/tacna/tacna_23_3.xls
3. MINSA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA . Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú [Internet]. 2010. Available from: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
4. Flaten TP. Aluminium as a risk factor in Alzheimer’s disease, with emphasis on drinking water. *Brain Res Bull* 2001;55(2):187-96.
5. Choque D, Choque Y, Solano A, Ramos B. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnol Química* [Internet] 2018;38(2):346-60. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445558422008>
6. Bravo M. Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en Aguas Residuales. [Internet]. 2017;53(9). Available from: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
7. Choque-Quispe D, Choque-Quispe Y, Solano-Reynoso A, Ramos-Pacheco B. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnol Química* [Internet] 2018;38(2):298-309. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852018000200008
8. Herrera Tovar M. Evaluación del amidón de papa como floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas. 2015;
9. Moreno Caso G, Ortega K, Valerio, Lady. Application of Solanum tuberosum (potato) starch as a natural coagulant in the water treatment of the Punrún lagoon - Perú. *Proc LACCEI Int Multi-conference Eng Educ Technol* 2021;2021-July.
10. Banchón C, Baquerizo R, Muñoz D, Zambrano L. Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE* 2016;7(4):111-26.
11. Dávila Paredes CM, Huamán Carranza MM, Flores Albornoz JI, Polo Salazar RA,

- Araujo Jamanca NF. Efectividad de especies naturales como ayudantes de Coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas. *Aporte Santiaguino* 2019;11(2):299.
12. Moreira J, Moreira C. Aplicación de coagulantes naturales obtenidos de las semillas de habas (*Vicia faba*) y durazno (*Prunus persica*) en la potabilización del agua. 2022;54-62. Available from: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2152932006/%0AResumen>:
 13. Arias-hoyos A, Hernandez-medina jose luis, Valencia andres fernando C, Peña N efredis sanchez. Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. oleifera como coagulante natural. *Biotechnol del Sect Agropecu y Agroindustrial* 2017;1(1):29-39.
 14. Benjumea-Hoyos CA, Toro Martínez M, Luna Marin V. Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización. *Bionatura* 2021;6(2):1770-7.
 15. Tello Moreno LF. El acceso al agua potable. 2008 [citado 2023 mar 21];123. Available from: https://www.senado.gob.mx/comisiones/recursos_hidraulicos/docs/doc13.pdf
 16. OMS. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. *Organ Mund la Salud [Internet]* 2011;4:608. Available from: <https://bityl.co/7FYT>
 17. López-Geta J, Juan FA, Ramos González G, Fermín Villarroya G. Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo [Internet]. 2007. Available from: http://observatoriaigua.uib.es/repositori/asoc_aguas_botin.pdf
 18. Larson P. Las cuatro esferas de la Tierra (The Four Spheres of Earth) [Internet]. Teacher Created Materials; 2017 [citado 2023 mar 21]. Available from: https://www.google.com.pe/books/edition/Las_cuatro_esferas_de_la_Tierra_The_Four/7Kh5DwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&kptab=overview
 19. Villa Manosalvas G. Simulación y modelado, de los procesos de potabilización para pequeños flujos de aguas subterráneas de consumo en una parroquia rural del Cantón el Empalme. [Internet]. 2019;Available from: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/45459/1/BINGQ-IQ-19P38.pdf>
 20. Idrovo C. Optimización de la Planta de Tratamiento de Uchupucun. 2010;
 21. Salas García A. Estudio de la eficiencia de eliminación de radionúclidos naturales en procesos compatibles con el de potabilización de aguas. 2005;
 22. Lorenzo Acosta Y. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación.

- Inst Cuba Investig los Deriv la Caña Azúcar Cuba 2006;2:10-7.
23. Andía Y. Tratamiento de agua coagulación y floculación [Internet]. Lima: 2000. Available from: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
 24. Torres P, Hernández D, Paredes D. Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. Rev Ing construcción [Internet] 2012 [citado 2021 nov 20];27(3):145-54. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 25. Nielsen S, Cooper DJ. Dewatering sludge originating in water treatment works in reed bed systems. Water Sci Technol 2011;64(2):361-6.
 26. Gutiérrez Rosero J, Ramírez-Fajardo Á, Rivas R, Linares B, Paredes D. Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. Rev Ing Univ Medellín 2014;13(25):13-27.
 27. Acuña Arias F. Química Orgánica - Google Libros [Internet]. En: Clasificación de las proteínas. 2006 [citado 2022 feb 23]. página 314-5. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=TL98uAXZ3JQC&pg=PA15&dq=en+que+consisten+las+fuerzas+de+van+der+waals&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj9grbS55b2AhVaVzABHXT6CvQQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=en+que+consisten+las+fuerzas+de+van+der+waals&f=false>
 28. Carpio B. Evaluación del uso de semillas de Mangífera indica L. (Mango) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales de la PTAR Munives de Ves - Lima [Internet]. 2019; Available from: <http://repositorio.unfels.edu.pe/handle/UNTELS/166>
 29. Rivas-Romero S, Menés-Vuelta G, Rómulo-Rodríguez A. Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. Cent Investig Níquel [Internet] 2017;173-83. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n2/rtq02217.pdf>
 30. Carril Flores A, Gómez García Y, Vásquez Mendoza H. Efecto coagulante -floculante del cladodio de tuna (Opuntia ficus indica) y del endospermo de moringa (Moringa oleífera lam) en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas de la PTAR del sector 9, Distrito de Manantay, 2018. 2020;
 31. Vilavila Morales S. Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri

- en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018. 2018;
32. Chóez F, Vargas J. “Evaluación del poder coagulante de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en agua superficial del estero salado- cantón Guayaquil” [Internet]. 2020; Available from: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51088>
 33. Pacheco P, Zapana K. Evaluación de los parámetros en el proceso de clarificación de aguas de la subcuenca del Río Yura en la zona la Caleta para la potabilización de aguas de la Jass-Vitor [Internet]. 2018; Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.07.010> <http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2014.07.001> <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.08.006> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24582474> <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.12.007> <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.12.007>
 34. Suyón L. “Evaluación del coagulante natural almidón de *Calathea allouia* (dale dale) para remover parámetros de turbidez y color en aguas de consumo humano del manantial Chorrobamba - Cacatachi, 2018” [Internet]. Tesis 2018; Available from: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13999/Mayhua_TYN.pdf?sequence=1&isAllowed=y http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/18362/Peixoto_PEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR0QfQkMWRrwpmbiRoQ99STBy6r2BevFdD-dSP_Wi5JEIshyNYe--
 35. Suárez J, Jácome A, Ures P. Coagulación - Floculación. Serie: Tratamientos Primarios. 2014.
 36. Romero M. Tratamientos utilizados en la Potabilización De Agua. Bol. Electron. Fac. Ing. - Univ. Rafael Landívar 2008;(08):1-12.
 37. Lossio MM, Piura A. Programa Académico de Ingeniería Civil [Internet]. 2012; Available from: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2053/ICI_192.pdf?sequence=1
 38. Orihuela J, Sánchez N. Diseño estructural de tanques rectangulares y sus aplicaciones. Ingenium 2016;01(02).
 39. BBVA. ¿Qué es el proceso de potabilización del agua y cuáles son sus fases? [Internet]. BBVA México 2021 [citado 2023 mar 1]; Available from: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-proceso-de-potabilizacion-del-agua-y-cuales-son-sus-fases/>
 40. Ministerio del Interior. La potabilización.
 41. Díaz S. Remoción de turbidez de aguas superficiales mediante floculación (Trabajo de

- investigación). [Internet]. U.P.N.2018;Available from:
<https://hdl.handle.net/11537/22046>
42. Marcó L, Azario R, Metzler C, García MC, Marcó L, Azario R, et al. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Hig y Sanid Ambient 2004;4:72-82.
43. Sánchez A. Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico [Internet]. 2016. Available from:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua.pdf
44. Sánchez Ó, Herzing M, Peters E, Márquez R, Zambrano L. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México - Google Libros [Internet]. 2007 [citado 2021 nov 8];293. Available from:
<https://books.google.com.pe/books?id=uWlrkIx-r3oC&pg=PA126&dq=turbidez+del+agua&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj4qq-84j0AhW0RTABHYCuAS0Q6AF6BAGDEAI#v=onepage&q=turbidez+del+agua&f=false>
45. Ospina O, García G, Gordillo J, Tovar K. Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). Ing Solidar [Internet] 2016;12(19):19-36. Available from:
<http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1191%0A>
46. Ortiz Aguirre R. Glosario geohidrológico [Internet]. 1996 [citado 2021 nov 8];180. Available from:
https://books.google.com.pe/books?id=aaM_vpBzDdMC&pg=PA150&dq=sólidos+totales+disueltos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjBgYbr94j0AhXInOAKHVjjCOYQ6AF6BAGGEAI#v=onepage&q=sólidos+totales+disueltos&f=false
47. Arora P. Physical, Chemical and Biological Characteristics of Water (e Content Module). Cent Univ Punjab [Internet] 2018;(December 2017):1-16. Available from:
https://www.researchgate.net/publication/322419790_Physical_Chemical_and_Biological_Characteristics_of_Water_e_Content_Module
48. Guzmán L, Villabona Á, Tejada C, García R. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Rev UDCA Actual Divulg Científica 2013;16(1):253-62.
49. Villarreal J. Cucunubá: modelo para un desarrollo sostenible [Internet]. 2000 [citado

- 2021 nov 8];275. Available from: https://books.google.com.pe/books?id=LOpB_Y6eKd4C&pg=PA34&dq=sólidos+total es+disueltos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjBgYbr94j0AhXInOAKHVjjCOYQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=sólidos suspendidos&f=false
50. Ramos R. El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis [Internet]. 2003 [citado 2021 nov 8];210. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=b8l-xhcHPEYC&pg=PA85&dq=sólidos+totales+disueltos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiBg-OYiYn0AhUCsDEKHW15A084ChDoAXoECAsQAg#v=onepage&q=sólidos suspendidos&f=false>
51. Vinasco J. Estudio del potencial eléctrico generado por partículas metálicas en un medio de dispersión coloidal (Electrical potential generated by metallic particles inside a colloidal medium). 2016;
52. Barrenechea A. Capítulo 4 coagulación. 2006. página 153-223.
53. De Vargas L. Tratamiento de agua para consumo humano [Internet]. 2004 [citado 2022 mar 30]. Available from: <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->
54. Novoa X. La prevención de la legionella y el control de la calidad del agua en entornos hospitalarios. Diseño, dimensionado y mantenimiento de las instalaciones de agua para edificios sanitarios. Los usos y el tratamiento del agua. Prevención de la legionella. [Internet]. 2021 [citado 2021 nov 9];172. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=qQI7EAAAQBAJ&pg=PA102&dq=medición+de+dureza+del+agua&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjAnPq48ov0AhVYVTABHXmnBv4Q6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=medición de dureza del agua&f=false>
55. Baird C. Química ambiental [Internet]. 2001 [citado 2021 nov 9];622. Available from: https://books.google.com.pe/books?id=bgUaHUqGPYIC&pg=PA467&dq=dureza+del+agua&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiMkb_B7Yv0AhXXSTABHc_OCh8Q6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=dureza del agua&f=false
56. Rigola Lapeña M. Tratamientos de aguas insutriales: aguas de proceso y residuales [Internet]. 1989 [citado 2021 nov 9];160. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=fQcXUq9WFC8C&pg=PA27&dq=COLOR+de+l+agua,+tratamiento+de+aguas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwia->

- 9i8v4v0AhUASzABHSxzBUcQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=COLOR del
agua%2C tratamiento de aguas&f=false
57. Marín Galvín R. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas [Internet]. 2019 [citado 2021 nov 9];439. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=jmzWDwAAQBAJ&pg=PA19&dq=pH+en+agua+superficiales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjy-8T6sIz0AhVSSDABHTSwAMgQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q&f=false>
 58. Field J. Bioremediación de metales pesados. Arizona: 2002.
 59. Reyes-navarrete MG, Irene A, Peña A, Magdalena D, Vargas AG-, González-valdez LS, et al. Metales Pesados : Importancia y analisis. 2012.
 60. Bauder J, Sigler A. Alcalinidad , pH y Sólidos Disueltos Totales [Internet]. 2014. Available from: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS_2012-11-15-SP.pdf
 61. Bojaca R. Determinación de alcalinidad por potenciometría [Internet]. Colombia: 2005. Available from: <http://www.ideam.gov.co/>
 62. Fuentes R, Ramos JA, Jiménez C, Esparza M. Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. Rev Int Contam Ambient [Internet] 2015 [citado 2021 nov 10];31(3):253-64. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 63. Gomella C, Guerrée H. Tratamiento de aguas para abastecimiento público [Internet]. 1997 [citado 2021 nov 10];224. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=W9sMqDlwMTMC&pg=PA16&dq=materia+organica+en+aguas+superficiales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiOz-WSII70AhXiRjABHRzxDs4Q6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=materia organica en aguas superficiales&f=false>
 64. Factor A, Mengiardi J, Factor A. Monitoreo de Drenaje Ácido Minero : Bajo de la Alumbreira . aluación de la Conductividad Eléctrica como indicador Evaluación. Ciencia 2003;1(1):129-36.
 65. Omus CA. Calidad del Agua. 2019.
 66. Belizario Quispe G, Capacoila Coila J, Huaquisto Ramos E, Cornejo Olarte DA, Chui Betancur3 HN. Determinación Del Contenido De Fósforo Y Arsénico, Y De Otros

- Metales Contaminantes De Las Aguas Superficiales Del Río Coata, Afluente Del Lago Titicaca, Perú. Rev Boliv Química 2019;36(5):223-8.
67. Chen López J. Ahora es el momento de analizar su agua [Internet]. Promix2021 [citado 2021 nov 11]; Available from: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/ahora-es-el-momento-de-analizar-su-agua/>
 68. De Vargas L. Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. 2009.
 69. Bustillos Alvarez JE, Obando Tapia GC. Diseño e implementación de un agitador semiautomático de doble hélice para una marmita de mosto de Mortiño de 1000 litros de capacidad, para la parroquia de Quinticusig, Porvincia de Cotopaxi [Internet]. Tesis2021; Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
 70. Goldspray. Hélice Inox 150 3 Palas - Goldspray [Internet]. [citado 2022 abr 21]; Available from: <http://goldspray.com/familias/agitadores/helices/agitador-helice-turbina-impeller-mezclador-removedor-batidor-dispersor-impulsor-acero-inoxidable-150-3-palas.html>
 71. Botasini S. Estudio de la estabilidad de nanopartículas y desarrollo de un sensor colorimétrico. 2016;
 72. Zerbato M, Carrera E, Eliggi M, Modini L, Vaira S, Noseda J, et al. Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparasitos en agua. Asociación de Universidades. Grupo Montevideo. AUGM _DOMUS [Internet] 2009;1:18-26. Available from: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/73>
 73. Flórez Cogollo JM. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclорuro de aluminio. Redalyc [Internet] 2011;78:18-27. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622372002>
 74. Quimpac. Especificación técnica de Sulfato Férrico en solución. 2021.
 75. Greentech. Coagulante: Sulfato Férrico [Internet]. [citado 2021 nov 11]; Available from: <https://greentech.com.uy/producto/coagulante-sulfato-ferrico/>
 76. Lopera Lopez FC. Proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales de una heladería: Eficiencia de diferentes coagulantes de origen inorgánico. 2019;
 77. Barajas Garzón C, León Luque A. Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación- floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. 2015;2.
 78. Yin CY. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment.

- Process Biochem [Internet] 2010;45(9):1437-44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>
79. Carrizales Condori R, Enríquez Nateros N. «Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de Moringa oleifera en la clarificación del agua de la Quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica». 2019;
 80. Ndabigengesere A, Subba N, G. B. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using moringa oleifera. Canada: 1995.
 81. Mejía Carrillo P, Urquia Collantes K, Cabello Torres R, Gonzales Valdiviezo L. Evaluación de la Moringa oleifera en el tratamiento de aguas con alta turbidez y Carga Orgánica. Ing del Agua 2020;24(2):119-27.
 82. Reyes Gonzales B, Guevara Arias J. “Obtención de almidón de plátano (Musa paradisiaca spp) modificado para el proceso de coagulación- floculación Moyobamba, 2017” [Internet]. 2018; Available from: <http://repositorio.unsm.edu.pe>
 83. Araúz F, Barragán J, Bósquez M, Canto E, González Y, Martínez E, et al. Tratabilidad de efluentes residuales por medio de un coagulante natural a base de tanino de pseudotallo del plátano. J Undergrad Res 2015;1:51-5.
 84. Ortiz Carvajal M. Evaluación de la cáscara de Plátano (AAB SIMMONDS) como coagulante natural para la clarificación de aguas. 2020;
 85. Villabona Ortíz A, Tejada Tovar C, Ortega Toro R, Millán Aníbal M, Licona Dager N. Evaluation of the use of plantain starch as a natural coagulant for the removal of colour and turbidity in water for human consumption Evaluación del uso de almidón de plátano como coagulante natural para la remoción de color y turbidez en agua para consu. Rev EIA 2021;17(33):1-8.
 86. Paca Telenchano F. Obtención del polisacárido (Almidón) de la cáscara Musa Paradisiaca L., como coagulante natural para el tratamiento del Río Monjas. 2018;
 87. Cabrejos Zavaleta WA. Eficiencia de la semilla de Prunus pérsica (durazno) como coagulante natural para el tratamiento aguas residuales de una planta procesadora de lácteos, Molinopampa. 2019;1.
 88. Barbaràn H, Lòpez J, Chico J. Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (Prunus persica) y palta (Persea americana). Sagateguiana 2017;5(1):7-16.
 89. Velasco M, Beltrán M, Gutiérrez KP, González A. Coagulantes Naturales como coadyuvantes en la clarificación de agua residual. México: 2018.
 90. Másmela Rozo AP, Aguilar Cristancho N. Evaluación de almidón de Manihot esculenta

- (Yuca) y Musa AAB Simmonds. (Plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de Occidente - PAO [Internet]. 2017; Available from: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/12023>
91. Ortiz Alcocer V, López Ocaña G, Torres Balcazar CA, Pampillón González L. Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas / Cassava Starch (*Manihot esculenta* Crantz) As a coadyuvant in the coagulation flocculation of domestic wastewater. *CIBA Rev Iberoam las Ciencias Biológicas y Agropecu* 2018;7(13):18-46.
 92. Villanueva Abanto J. Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) y de San Pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación del agua. 2019;
 93. Silva Casas MN. «Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias». [Internet]. Repos. Tesis - UNMSM2017;1(1). Available from: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/7155>
 94. Caldera Y, Laguna K, Millán E, González Y, Gutiérrez E. *Opuntia ficus indica*: un coagulante alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez y pH ácido. *Rev Arbitr Venez del Núcleo Costa Orient del Lago* 2019;14:174-9.
 95. Borja Mayorga D, Chuiza Rojas MR, Andrade Avalos ML. Clarificación de aguas residuales de la industria láctea en base a la tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural. *ConcienciaDigital* 2021;4(3.1):177-89.
 96. Hurtado Vander J, Yarleque Navarro E. Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (*Solanum Tuberosum*) en la purificación del agua del Río Patari para uso de consumo humano. 2017;
 97. Camacho H, Campos D, Mercado I, Cubillán N, Castellar G. Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Rev Investig e Innovación en Ing* [Internet] 2020;8(1):100-11. Available from: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
 98. Ismail S, Mahiddin N, Praveena S. The used of dragon fruit peels as eco-friendly wastewater coagulants. *Futur Food J Food, Agric Soc* 2018;6(Specialissue):66-71.
 99. M. R. Shafad, I. S. Ahamad, A. Idris ZZA. A preliminary study on *Hylocereus undatus* foliage as natural coagulant in water treatment. *Int J Eng Res Technol* 2013;2(12):9199673-9199673.

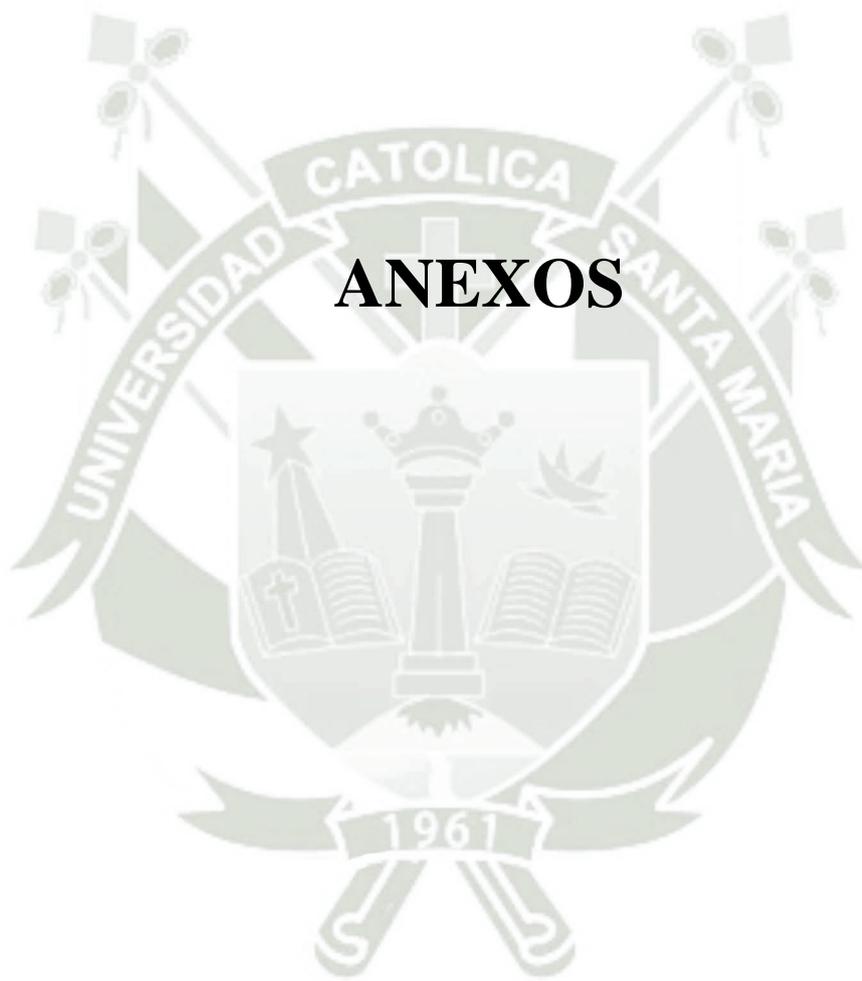
100. Méndez C, Coello A, Galán V. Variedades de Pitaya Roja. AgroCabildo [Internet] 2013;1-18. Available from: http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/frut_486_Pitaya_definitivo.pdf
101. Som A, Abd A. Performance study of dragon fruit foliage as a plantbased coagulant for treatment of palm oil mill effluent from three-phase decanters. BioResources 2018;13(2):4290-300.
102. López León S, Matias Cervantes C, Matías-Pérez D. Vegetable coagulants as alternative for treatment of wastewater in Mexico. J Negat No Posit Results 2017;2(12):687-94.
103. ANA. Gestion De Los Recursos Hídricos-Cuenca Moquegua [Internet]. 2014. Available from: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2014/moquegua/eer-moquegua-2014-iglesias.pdf>
104. SUNASS. Estudio tarifario 2018 - 2022. 2017.
105. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Evaluación Geológica-Geodinámica de los flujos de Detritos del 26 / 02 / 2020 Ocurrido en las Localidades de Samegua y Moquegua. 2020.
106. Gobierno Regional Moquegua. Diagnóstico Regional de la Calidad de Agua para consumo humano-2016. 2017.
107. MPMN MP de MN. Ejecución del mantenimiento de la planta de tratamiento, sector Yunguyo del Distrito de Samegua [Internet]. 2019 [citado 2021 nov 30];Available from: <https://www.facebook.com/municipalidaddistritaldesamegua/videos/2127169317410103>
108. Chama J. Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (*Solanum Tuberosum*) var. única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua [Internet]. 2017;0(0). Available from: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UJCM_630c57452f5c2c59bd8f6a42458046fb#details
109. Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 1ra. Edici. Lima: 2011.
110. Montero Reyes R. Normas Legales [Internet]. 2017. Available from: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-el-codigo-de-responsabilidad-decreto-legislativo-n-1348-1471548-8/>
111. Sunass. Quiénes somos [Internet]. [citado 2021 nov 20];Available from: <https://www.sunass.gob.pe/sunass/quienes-somos/>

112. MINAM. La calidad del agua potable en el Perú [Internet]. Sunnas2004;(October):259. Available from: https://www.sunass.gob.pe/Publicaciones/agua_potable.pdf http://www.ghbook.ir/index.php?option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chkhask=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component
113. MINAM. Normas Legales. El Peru.2010;(0):4.
114. Google Earth [Internet]. [citado 2021 dic 3];Available from: https://earth.google.com/web/search/Samegua,+Moquegua/@-17.18786461,-70.91723129,1488.82962357a,724.43612521d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCd-rt1WjXTNAEd2rt1WjXTPAGbjHZevr_jBAIT93fI312FTA
115. Hanna Instruments. Ficha técnica del producto reactivo para Cloro Libre, método DPD 100 tests.
116. Hach Company. Chlorine , Total, DPD Method. 2022.
117. Asogan D, Bartsch N, Manecki M. US EPA SW-846 Method 6020B using the iCAP RQ ICP-MS Authors.
118. Physical & Aggregate properties. Solids. 2000.
119. Adjeroud N, Hammoui Y, Boudria A, Agab S, Choulak F, Leclerc JP, et al. Effect of a natural coagulant extract from *Opuntia ficus-indica* cladode on electrocoagulation-electroflotation water treatment process. *Int J Environ Anal Chem* [Internet] 2020;00(00):1-25. Available from: <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1804889>
120. Cabrera X, Fleites M, Contreras A. Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil «Desembarco del Granma» a escala de laboratorio. *Tecnol Química* 2019;XXIX, núm:64-73.
121. Usefi S, Asadi-Ghalhari M, Izanloo H, Yari AR, Mostafaloo R. The Performance of Starch as a Natural Coagulant for Turbidity Removal from Wastewater in Stone Cutting Industry. *Arch Hyg Sci* [Internet] 2019;8(1):17-26. Available from: <http://jhygiene.muq.ac.ir/article-1-363-en.html>
122. Nasserline K, Mimi Z, Bevan B, Elian B. Environmental management of the stone cutting industry. *J Environ Manage* 2009;90(1):466-70.
123. Ynofuente L, Flores Condori M, Vigo Rivera JE. Residuos de papa como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de agua. *UNED Res J* 2022;14(2):e4282.
124. Villabona Ortiz Á, Cristina Paz Astudillo I, Martínez García J. Caracterización de *Opuntia ficus-indica* para coagulante natural Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural Characterization of *Opuntia ficus-indica* for using

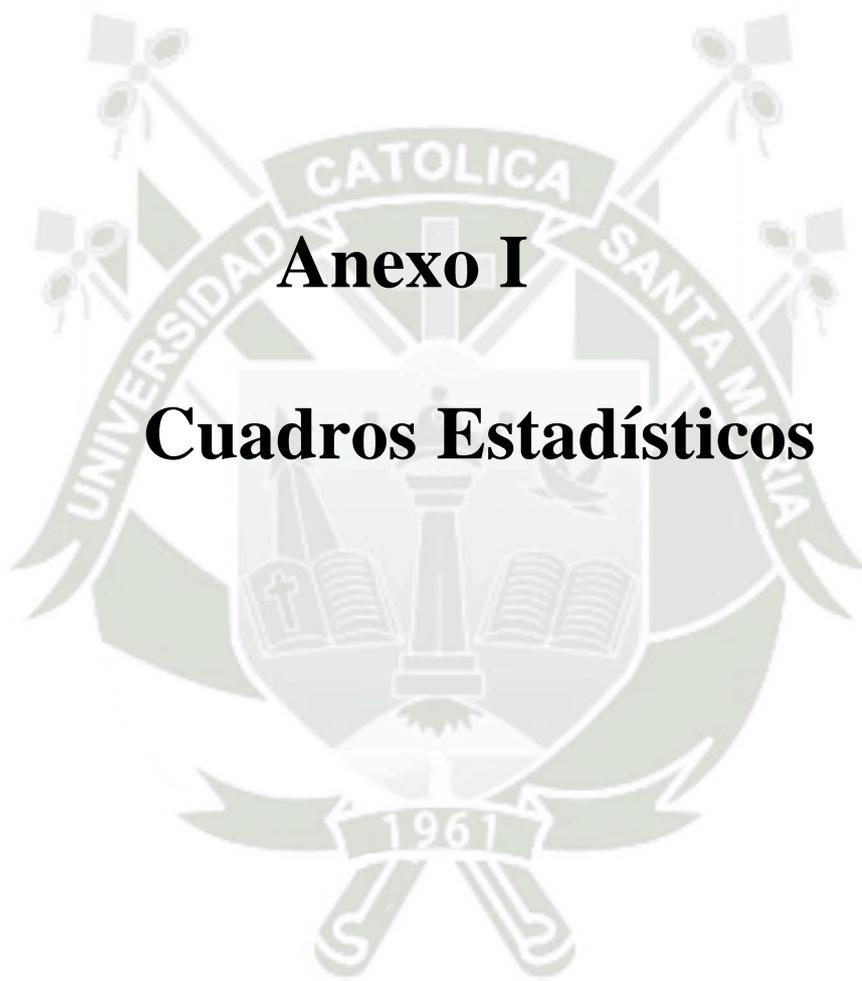
- as a natural coagulant. Rev Colomb Biotecnol 2013;XV(1):137-44.
125. Rondeau V, Jacqmin-Gadda H, Commenges D, Helmer C, Dartigues JF. Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: Findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort. Am J Epidemiol 2009;169(4):489-96.
 126. Meza M, Riaños K, Mercado I, Olivero R, Jurado M. Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. Rev UIS Ing [Internet] 2018;17(2):95-104. Available from: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/8084/8178>
 127. Léo P, Lima R, Paulo J, Duarte M. Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleifera para la depuración de aguas con baja turbiedad. 2009.
 128. Mousavian HKS, Sharifi MSP, Seyed GHA, Takdastan SA. Possibility of utilizing natural coagulants (Trigonella foenum - graecum and Astragalus gossypinus) along with alum for the removal of turbidity. Int J Environ Sci Technol [Internet] 2018;(0123456789). Available from: <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1635-1>
 129. Olivero Verbel R, Mercado I, Montes L. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago. 2013;8(1):19-27.
 130. Quino Quispe PD. Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación- floculación con semillas de Durazno (Prunus pérsica), Tuna (Opuntia ficus indica) y cáscara de Papa (Solanum tuberosum) del río Jillusaya. Apthapi 2020;6(1):1839-52.
 131. Almazán JE, Domínguez RM, Gutierrez D, Romero EM, Rajal VB. Diferentes maneras de uso de un clarificante natural en procesos de potabilización de aguas turbias. Rev la Fac Ciencias Exactas, Físicas y Nat [Internet] 2018;5(0):33. Available from: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/22894/22554>
 132. Chuiza-Rojas MR, Calderón SH, Vargas-Escobar JA, Borja-Mayorga DF, Rennola-Alarcón L. Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con tuna (Opuntia ficus indica). Cienc e Ing [Internet] 2019;40(3):245-52. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507567854003>
 133. Vaca-Mier M, López-Callejas R, Flores-Rodríguez J, Terres H, Lizardi A, Rojas-Valencia M. Aplicación del Nopal (Opuntia ficus indica) como coagulante primario de aguas residuales. Rev AIDIS Ing y Ciencias Ambient Investig Desarro y práctica [Internet] 2014;7(3):7. Available from: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/viewFile/46815/42201>

134. Contreras K, Aguas Y, Salcedo G, Olivero R, Mendoza G. El Nopal(*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. 2015;10(1):40-50. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100004
135. Jaco Rivera 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. 2022;
136. Idris J, Som AM, Musa M, Ku Hamid KH, Husen R, Muhd Rodhi MN. Dragon fruit foliage plant-based coagulant for treatment of concentrated latex effluent: Comparison of treatment with ferric sulfate. *J Chem* 2013;2013.
137. Choy SY, Prasad KMN, Wu TY, Raghunandan ME, Ramanan RN. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *J Environ Sci (China)* [Internet] 2014;26(11):2178-89. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
138. Le HOT. Removal of Pollutants From Disperse Black Dye Wastewater By Mucilage From Dragon Fruit Peel. *Vietnam J Sci Technol* 2020;58(5):613.
139. Le O, Tran, Le; Doan, V; Pham Q, Ngo A, Nguyen H. Mucilage Extracted from Dragon Fruit Peel (*Hylocereus undatus*) as Flocculant for Treatment of Dye Wastewater by Coagulation and Flocculation Process. *Int J Polym Sci* [Internet] 2020;2020. Available from: <https://doi.org/10.1155/2020/7468343>
140. Bautista M. USO DE HARINA DE PITAHAYA (*Hylocereus megalanthus* (K. Schum . ex Vaupel) Ralf Bauer), PENCO (*Opuntia macbridei* Britton & Rose) PARA HUMANO EN LA LOCALIDAD DE FLORIDA POMACOCHAS – AMAZONAS. 2019;
141. Carrasquero SJ, Montiel Flores S, Faría Perche ED, Parra Ferrer PM, Marin Leal JC, Díaz Montiel AR. Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonchum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Rev Fac Ciencias Básicas* 2017;13(2):90-9.
142. Ramirez H, Jaramillo J. Agentes Naturales Como Alternativa. *Univ Mil Nueva Granada* 2015;Volumen 11:136-53.
143. Choumane FZ, Zaoui F, Kandouci F, Maachou B, Benguella B. Valorization of potato peel residues to produce a bioflocculant to be used in the treatment of liquid effluents. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2021;1204(1):012002.

144. Padilla OG, Zárate JR. Determinación de las características coagulantes del almidón de papa (*Solanum Tuberosum*) y de la tuna (*Opuntia Ficus –Indica*) para remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de aguas superficiales [Internet]. 2020. Available from: www.fiq.ug.edu.ec
145. Gandiwa BI, Moyo LB, Ncube S, Mamvura TA, Mguni LL, Hlabangana N. South African Journal of Chemical Engineering Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (*Moringa Oleifera*-*Cactus Opuntia*-alum blend). South African J Chem Eng [Internet] 2020;34(July):158-64. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>
146. Enrique R, Verbel O. *Opuntia Ficus* y *Moringa oleifera* y sus efectos como clarificantes en aguas turbias *Opuntia Ficus* y *Moringa oleifera* , y sus efectos como clarificantes en aguas turbias.
147. Amasifuén A, Quintana K. Eficiencia de *Echinopsis pachanoi* y *Opuntia ficus* en la remoción de la turbidez y sólidos disueltos totales en la quebrada Ushpayacu, Nuevo Huancabamba, El Dorado, 2021 [Internet]. Univ. César Vallejo 2021; Available from: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
148. Poveda R. Tratamiento Físico Químico Y Su Posible Reuso Del Agua Residual Proveniente Del Lavado De Fibras Proteicas Para Cumplir Con Los Vma. Repos Inst la Univ Técnica Ambato 2021;593(03):119.
149. Alvarado LN. Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta "La Diana". Publicaciones e Investig 2012;6:115.
150. Nand V. Water Purification using *Moringa oleifera* and Other Locally Available Seeds in Fiji for Heavy Metal Removal. Int J Appl Sci Technol Vol 2012;2(5):125-9.
151. Nharingo T, Zivurawa MT, Guyo U. Exploring the use of cactus *Opuntia ficus indica* in the biocoagulation–flocculation of Pb(II) ions from wastewaters. Int J Environ Sci Technol 2015;12(12):3791-802.



ANEXOS



Anexo I

Cuadros Estadísticos

Anexo I

Cuadros estadísticos

Sulfato de aluminio

a) Turbidez.

Tabla 32. Pruebas de Normalidad para % remoción de turbidez para sulfato de aluminio.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.5792	0.0007

En la **Tabla 32**, se observa que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que el % de remoción de turbidez provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 33. Verificación de varianza Levene para % remoción de turbidez en sulfato de aluminio.

Prueba	Valor-p
Levene	0.99365

En la **Tabla 33**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, determinando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 34. Prueba de Kruskal-Wallis para % remoción de turbidez por dosis en sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	2.0
5	mg/L	3	5.0
15	mg/L	3	8.0
20	mg/L	3	11.3
25	mg/L	3	14.5
30	mg/L	3	16.2

Estadístico = 15.9697 Valor-p = 0.0069

En la **Tabla 34**, se observa que el valor-p es menor que 0.05, reportando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 35. Análisis de varianza para el % RT con Sulfato de Aluminio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8943.7	5	1788.74	5695.82	0.0000
Intra grupos	3.76853	12	0.3140		
Total (Corr.)	8947.47	17			

En la **Tabla 35**, se muestra el Análisis de varianza para % de remoción de NTU con sulfato de aluminio, identificando que existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre los % de remoción de NTU para sulfato de aluminio $F(5,17) = 5695.82$, valor $p=0.0001$ puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05.

b) Sólidos totales disueltos.

Tabla 36. Pruebas de Normalidad de STD para sulfato de aluminio.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8962	0.0494

En la **Tabla 36**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que los STD (mg/L) provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 37. Verificación de varianza Levene de los STD para sulfato de aluminio.

Prueba	Valor-p
Levene	0.9954

En la **Tabla 37**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, determinando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 38. Prueba de Kruskal-Wallis para STD (mg/L) por dosis en sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	13.17
5	mg/L	3	9.0
15	mg/L	3	8.83
20	mg/L	3	7.0
25	mg/L	3	8.0
30	mg/L	3	11.0

Estadístico = 2.6582 Valor-p= 0.7524

Según la **Tabla 38**, se observa que el valor-p es mayor que 0.05, reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 39. Análisis de varianza para los STD con Sulfato de Aluminio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	100.667	5	20.1333	0.28	0.9127
Intra grupos	849.333	12	70.7778		
Total (Corr.)	950.0	17			

En la **Tabla 39**, se muestra el Análisis de varianza para los sólidos totales disueltos con sulfato de aluminio, identificando que no existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre los % de remoción de NTU para sulfato de aluminio $F(5,17) = 0.28$, valor $p=0.9127$] puesto que el valor-P de la prueba-F es mayor que 0.05.

c) **Conductividad**

Tabla 40. Pruebas de Normalidad de la conductividad para sulfato de aluminio.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8694	0.0163

En la **Tabla 40**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 41. Verificación de varianza Levene para conductividad en sulfato de aluminio.

Prueba	Valor-p
Levene	0.998143

En la **Tabla 41**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, determinando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 42. Prueba de Kruskal-Wallis para la conductividad por dosis en sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	12.7
5	mg/L	3	9.3
15	mg/L	3	9.0
20	mg/L	3	7.0
25	mg/L	3	8.7
30	mg/L	3	10.3

Estadístico = 1.9125 Valor-p = 0.8611

En la **Tabla 42** se observa que el valor-p es mayor que 0.05, reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 43. Análisis de varianza para la CE con Sulfato de Aluminio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	305.833	5	61.1667	0.16	0.9711
Intra grupos	4474.67	12	372.889		
Total (Corr.)	4780.5	17			

En la **Tabla 43**, se muestra el Análisis de varianza para la conductividad con sulfato de aluminio, identificando que no existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre las conductividades para sulfato de aluminio $F(5,17) = 0.16$, valor $p=0.9711$] puesto que el valor-P de la prueba-F es mayor que 0.05.

Opuntia ficus.

a) *Turbidez.*

Tabla 44. Pruebas de Normalidad para % remoción de turbidez para *Opuntia ficus indica*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.553802	0.0000

En la **Tabla 44**, para contrastar si nuestros datos siguieron una distribución normal se realizó la prueba de Normalidad, dándonos como resultado que debido a que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que % remoción de turbidez proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 45. Verificación de varianza Levene para % remoción de turbidez.

	Prueba	Valor-p
Levene	0.6412	0.6730

Para ver si nuestras pruebas tienen igualdad de varianza se realizó la prueba de Levene, como se puede observar en la **Tabla 45**, puesto que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 46. Prueba de Kruskal-Wallis para el % remoción de turbidez de *Opuntia ficus indica*.

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	2.0
50	mg/L	3	17.0
80	mg/L	3	14.0
90	mg/L	3	9.7
100	mg/L	3	8.3
110	mg/L	3	6.0

Estadístico = 15.4094 Valor-p = 0.0087

Debido a que las pruebas de Shapiro y Leven salieron no significativas se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, esta prueba detecta si es que existió una diferencia en la ubicación de distribución, como se puede observar en la **Tabla 46**, puesto que el valor-p es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 47. Análisis de varianza para el % de RT de *Opuntia ficus indica*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	350.278	5	70.0556	9.85	0.0006
Intra grupos	85.3333	12	7.11111		
Total (Corr.)	435.611	17			

En la **Tabla 47**, se muestra el Análisis de varianza para % de remoción de turbidez con *Opuntia ficus indica*, identificando que existió diferencia estadísticamente significativa puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05.

b) Sólidos Totales Disueltos.

Tabla 48. Pruebas de Normalidad de STD para *Opuntia ficus indica*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.9145	0.1058

Según la **Tabla 48**, debido a que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que STD (mg/L) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 49. Verificación de varianza Levene para STD de *Opuntia ficus indica*.

	Prueba	Valor-p
Levene	0.4178	0.8276

En la **Tabla 49**, el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 50. Análisis de varianza para STD de *Opuntia ficus indica*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	100.5	5	20.1	2.62	0.0795
Intra grupos	92.0	12	7.66667		
Total (Corr.)	192.5	17			

En la **Tabla 50**, se muestra el Análisis de varianza para los sólidos totales disueltos, puesto que el valor-p de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

c) *Conductividad*

Tabla 51. Pruebas de Normalidad de la conductividad para *Opuntia ficus indica*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.9748	0.8615

En la **Tabla 51**, el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que la conductividad ($\mu\text{S/cm}$) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 52. Verificación de varianza Levene para conductividad de *Opuntia ficus indica*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.4399

En la **Tabla 52**, puesto que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 53. Análisis de varianza para CE de *Opuntia ficus indica*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	221.778	5	44.3556	2.00	0.1516
Intra grupos	266.667	12	22.2222		
Total (Corr.)	488.444	17			

En la **Tabla 53**, se muestra el Análisis de varianza para conductividad, puesto que el valor-p de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Hylocereus undatus.

a) *Turbidez.*

Tabla 54. Pruebas de Normalidad de % remoción de turbidez para *Hylocereus undatus.*

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.6444	0.0000

En la **Tabla 54** debido a que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que el % remoción de turbidez proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 55. Verificación de varianza Levene para % remoción de turbidez de *Hylocereus undatus.*

	Prueba	Valor-p
Levene	0.1754	0.9667

En la **Tabla 55**, el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 56. Prueba de Kruskal-Wallis para % remoción de turbidez por dosis para *Hylocereus undatus.*

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	2.0
90	mg/L	3	11.33
200	mg/L	3	10.0
300	mg/L	3	13.67
400	mg/L	3	9.67
500	mg/L	3	10.33

Estadístico = 8.2216 Valor-p = 0.1444

Debido a que las pruebas de Shapiro y Leven salieron no significativas, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, como se puede observar en la **Tabla 56**, que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 57. Análisis de varianza para % RT con *Hylocereus undatus*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4771.68	5	954.336	62.47	0.0000
Intra grupos	183.311	12	15.2759		
Total (Corr.)	4954.99	17			

En la **Tabla 57**, se muestra el Análisis de varianza para % de remoción de NTU con *Hylocereus undatus*, identificando que existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre los % de remoción de NTU para *Hylocereus undatus* $F(5,17) = 62.47$, valor $p=0.0001$] puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05.

b) Sólidos Totales Disueltos

Tabla 58. Pruebas de Normalidad para STD para *Hylocereus undatus*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.904847	0.0706

En la **Tabla 58**, el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que STD (mg/L) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 59. Verificación de Varianza Levene para STD de *Hylocereus undatus*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.7678

Los estadísticos mostrados en la **Tabla 59**, el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 60. Análisis de varianza para STD con *Hylocereus undatus*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	2720.28	5	544.056	39.17	0.0000
Intra grupos	166.667	12	13.8889		
Total (Corr.)	2886.94	17			

Según la **Tabla 60**, se muestra el Análisis de varianza para los sólidos totales disueltos, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

c) Conductividad

Tabla 61. Pruebas de Normalidad para conductividad de *Hylocereus undatus*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8852	0.0313

En la **Tabla 61**, debido a que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 62. Verificación de varianza Levene para conductividad de *Hylocereus undatus*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.2515

En la **Tabla 62** puesto que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 63. Prueba de Kruskal-Wallis para conductividad por dosis para *Hylocereus undatus*.

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	3	12.0
90 mg/L	3	7.33333
200 mg/L	3	10.5
300 mg/L	3	9.16667
400 mg/L	3	8.83333
500 mg/L	3	9.16667

Estadístico = 1.3921 Valor-p= 0.9251

Los estadísticos mostrados en la **Tabla 63**, puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 64. Análisis de varianza para la CE con *Hylocereus undatus*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	15.1667	5	3.03333	0.18	0.9653
Intra grupos	203.333	12	16.9444		
Total (Corr.)	218.5	17			

La **Tabla 64**, se muestra el Análisis de varianza para conductividad, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Solanum tuberosum

a) *Turbidez*

Tabla 65. Pruebas de Normalidad para % remoción de turbidez para *Solanum tuberosum*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.4845	0.0000

En la **Tabla 65**, debido a que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea que el % remoción de turbidez proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 66. Verificación de Varianza Levene para % remoción de turbidez de *Solanum tuberosum*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.5908

En la **Tabla 66**, el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 67. Prueba de Kruskal-Wallis para % remoción de turbidez por dosis.

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	2.0
10	mg/L	3	13.83
20	mg/L	3	8.5
50	mg/L	3	11.83
80	mg/L	3	11.5
110	mg/L	3	9.33

Estadístico = 9.0186 Valor-p = 0.1083

En la **Tabla 67**, puesto que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 68. Análisis de varianza para % RT con *Solanum tuberosum*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10560.4	5	2112.08	2748.91	0.0000
Intra grupos	9.22	12	0.768333		
Total (Corr.)	10569.6	17			

En la **Tabla 68**, se muestra el Análisis de varianza para % de remoción de NTU con *Solanum tuberosum*, identificando que existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre los % de remoción de NTU para *Solanum tuberosum* $F(5,17) = 2748.91$, valor $p=0.0001$] puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05.

b) Sólidos totales disueltos

Tabla 69. Pruebas de Normalidad para STD de *Solanum tuberosum*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.774693	0.000422986

En la **Tabla 69**, debido a que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que STD (ppm) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 70. Verificación de Varianza Levene para STD de *Solanum tuberosum*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.695617

Los estadísticos mostrados en la **Tabla 70**, puesto que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 71. Prueba de Kruskal-Wallis para STD por Dosis.

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	3	14.8333
10 mg/L	3	5.66667
20 mg/L	3	8.33333
50 mg/L	3	8.16667
80 mg/L	3	9.83333
110 mg/L	3	10.1667

Estadístico = 5.186 Valor-p = 0.3935

En la **Tabla 71**, puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 72. Análisis de varianza para STD con *Solanum tuberosum*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	63.7778	5	12.7556	1.16	0.3831
Intra grupos	132.0	12	11.0		
Total (Corr.)	195.778	17			

La **Tabla 72**, se muestra el Análisis de varianza para los sólidos totales disueltos, puesto que el valor-p de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables.

c) *Conductividad*

Tabla 73. Pruebas de Normalidad para la conductividad de *Solanum tuberosum*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8520	0.0080

En la **Tabla 73**, debido a que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que conductividad (uS/cm) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 74. Verificación de Varianza Levene para conductividad de *Solanum tuberosum*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.8295

En la **Tabla 74**, puesto que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 75. Prueba de Kruskal-Wallis para conductividad por dosis de *Solanum tuberosum*.

Dosis	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	3	11.0
10 mg/L	3	4.66667
20 mg/L	3	9.33333
50 mg/L	3	10.0
80 mg/L	3	10.0
110 mg/L	3	12.0

Estadístico = 3.5182 Valor-P = 0.6206

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 6 columnas es la misma, como se puede observar en la **Tabla 75**, puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 76. Análisis de varianza para la conductividad con *Solanum tuberosum*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	79.1111	5	15.8222	0.85	0.5390
Intra grupos	222.667	12	18.5556		
Total (Corr.)	301.778	17			

La **Tabla 76**, se muestra el Análisis de varianza para conductividad, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Mezcla entre *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*

a) Turbidez

Tabla 77. Pruebas de Normalidad de la remoción de turbidez para la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.541824	0.000000072

En la **Tabla 77**, se reportó que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea que el % remoción de turbidez proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 78. Verificación de varianza Levene para remoción de turbidez en la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

	Prueba	Valor-p
Levene	1.1934	0.3687

En la **Tabla 78**, nos indica la prueba Levene que el valor-p es mayor o igual que 0.05, determinando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 79. Prueba de Kruskal-Wallis para el % remoción de turbidez en la mezcla *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	2.0
10/50	mg/L	3	8.0
20/40	mg/L	3	11.5
30/30	mg/L	3	9.33
40/20	mg/L	3	10.83
50/10	mg/L	3	15.33

Estadístico = 10.3616 Valor p= 0.0656

En la **Tabla 79**, se reportó que debido a que el valor-p es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 80. Análisis de varianza para % RT con una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	8119.22	5	1623.84	256.63	0.0000
Intra grupos	75.9317	12	6.32764		
Total (Corr.)	8195.15	17			

En la **Tabla 80**, se muestra el análisis de varianza para % de remoción de NTU con una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* identificando que existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre los % de remoción de NTU para la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* [F(5,17) = 256.63, valor p=0.0001] puesto que el valor-p de la prueba-F es menor que 0.05.

b) Sólidos totales disueltos

Tabla 81. Pruebas de Normalidad de STD para la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.9524	0.4636

En la **Tabla 81**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor que 0.05, determinando no se puede rechazar la idea de que los sólidos totales disueltos (mg/L) provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 82. Verificación de varianza Levene para los STD con una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.6108

En la **Tabla 82**, se observa que el valor-p es mayor o igual que 0.05, reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 83. Análisis de varianza para STD con una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	211.78	5	42.3556	1.96	0.1576
Intra grupos	259.33	12	21.6111		
Total (Corr.)	471.11	17			

En la **Tabla 83**, se muestra el Análisis de varianza para sólidos totales disueltos (mg/L) con una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* identificando que no existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre los % de remoción de turbidez para la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* [$F(5,17) = 1.96$, valor $p=0.1576$] puesto que el valor-p de la prueba-F es mayor que 0.05.

c) Conductividad

Tabla 84. Pruebas de Normalidad de la conductividad para la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.9211	0.1383

En la **Tabla 84**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0.05, determinando no se puede rechazar la idea de que la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 85. Verificación de varianza Levene para la conductividad en la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Prueba	Valor-p
Levene	0.801673

En la **Tabla 85**, se observa que el valor-p es mayor o igual que 0.05, reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 86. Análisis de varianza para la CE con una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	320.444	5	64.0889	0.49	0.7762
Intra grupos	1562.67	12	130.222		
Total (Corr.)	1883.11	17			

En **Tabla 86**, se muestra el análisis de varianza para la conductividad de una mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* e identificando que no existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre las medias de conductividad para la mezcla de *Solanum tuberosum* y *Opuntia ficus* [$F(5,17) = 0.49$, valor $p=0.7762$] puesto que el valor-p de la prueba-F es mayor que 0.05.

Mezcla entre *Solanum tuberosum*/sulfato de aluminio

a) Turbidez

Tabla 87. Pruebas de Normalidad del % de remoción de turbidez para la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.5708	0.0000

En la **Tabla 87**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que el % de remoción de turbidez provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 88. Verificación de varianza Levene para el % remoción de turbidez en la mezcla *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

	Prueba	Valor-p
Levene	0.326589	0.887379

En la **Tabla 88**, se observa que el valor-p es mayor o igual que 0.05, reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 89. Prueba de Kruskal-Wallis para el % remoción de turbidez en la mezcla *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	,
Control	mg/L	3	2.0
10/30	mg/L	3	15.0
10/20	mg/L	3	12.3
10/10	mg/L	3	7.3
10/5	mg/L	3	9.0
10/2	mg/L	3	11.33

Estadístico = 10.82 Valor-p = 0.055

En la **Tabla 89**, se reportó que el valor-p es mayor o igual que 0.05, determinado que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 90. Análisis de varianza para el % RT con una mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	5808.35	5	1161.68	265.41	0.0000
Intra grupos	52.5227	12	4.37689		
Total (Corr.)	5860.9	17			

En la **Tabla 90**, se muestra el Análisis de varianza para la turbidez con una mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio identificando que existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre el % de remoción de turbidez para la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio [$F(5,17) = 265.41$, valor $p=0.00$] puesto que el valor-p de la prueba-F es mayor que 0.05.

b) Sólidos totales disueltos.

Tabla 91. Pruebas de Normalidad de los STD para la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8875	0.0344

En la **Tabla 91**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que los STD (mg/L) provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 92. Verificación de varianza Levene para los STD en la mezcla *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

	Prueba	Valor-p
Levene	0.1957	0.9581

En la **Tabla 92**, se observa que el valor-p es mayor o igual que 0.05, reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 93. Prueba de Kruskal-Wallis para los STD en la mezcla *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	10.83
10/30	mg/L	3	8.67
10/20	mg/L	3	9.33
10/10	mg/L	3	7.0
10/5	mg/L	3	11.17
10/2	mg/L	3	10.0

Estadístico = 1.3667 Valor-p = 0.92792

En la **Tabla 93**, se reportó que el valor-p es mayor o igual que 0.05, determinado que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 94. Análisis de varianza para los STD con una mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	8.44444	5	1.68889	0.25	0.9333
Intra grupos	82.0	12	6.83333		
Total (Corr.)	90.4444	17			

En la **Tabla 94**, se muestra el Análisis de varianza para los sólidos totales disueltos con una mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio identificando que no existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre los sólidos totales disueltos para la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio [$F(5,17) = 0.25$, valor $p=0.93$] puesto que el valor-p de la prueba-F es mayor que 0.05.

c) Conductividad

Tabla 95. Pruebas de Normalidad de la conductividad para la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Prueba	Estadístico	Valor-p
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.879707	0.0249

En la **Tabla 95**, se observa que el valor-p más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que la conductividad proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 96. Verificación de varianza Levene para la conductividad en la mezcla *Solanum tuberosum*/sulfato de aluminio.

	Prueba	Valor-p
Levene	0.3028	0.9018

En la **Tabla 96**, se observa que el valor-p es mayor o igual que 0.05, reportando no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 97. Prueba de Kruskal-Wallis para la conductividad en la mezcla *Solanum tuberosum* y Sulfato de aluminio

Dosis	Unidades	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Control	mg/L	3	11.5
10/30	mg/L	3	8.5
10/20	mg/L	3	9.17
10/10	mg/L	3	8.0
10/5	mg/L	3	10.83
10/2	mg/L	3	9.0

Estadístico = 1.0155 Valor-P = 0.9613

En la **Tabla 97**, se reportó que el valor-P es mayor o igual que 0.05, determinado que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 98. Análisis de varianza para la CE con una mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Entre grupos	34.6667	5	6.93333	0.27	0.9205
Intra grupos	307.333	12	25.6111		
Total (Corr.)	342.0	17			

En la **Tabla 98**, se muestra el análisis de varianza para la conductividad con una mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio identificando que no existió diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza entre las conductividades para la mezcla de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio [$F(5,17) = 0.27$, valor $p=0.9205$] puesto que el valor-p de la prueba-F es mayor que 0.05.

Anexo II

Reglamento de la calidad del agua para consumo humano

Anexo II

Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.

Tabla 99. Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos.

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1.8 / 100 ml

Fuente: Adaptado de ^[3]

Tabla 100. Parámetros de calidad organoléptica.

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor		Aceptable
2. Sabor		Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg/L	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁻ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1.5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0.3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0.4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0.2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2.0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3.0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

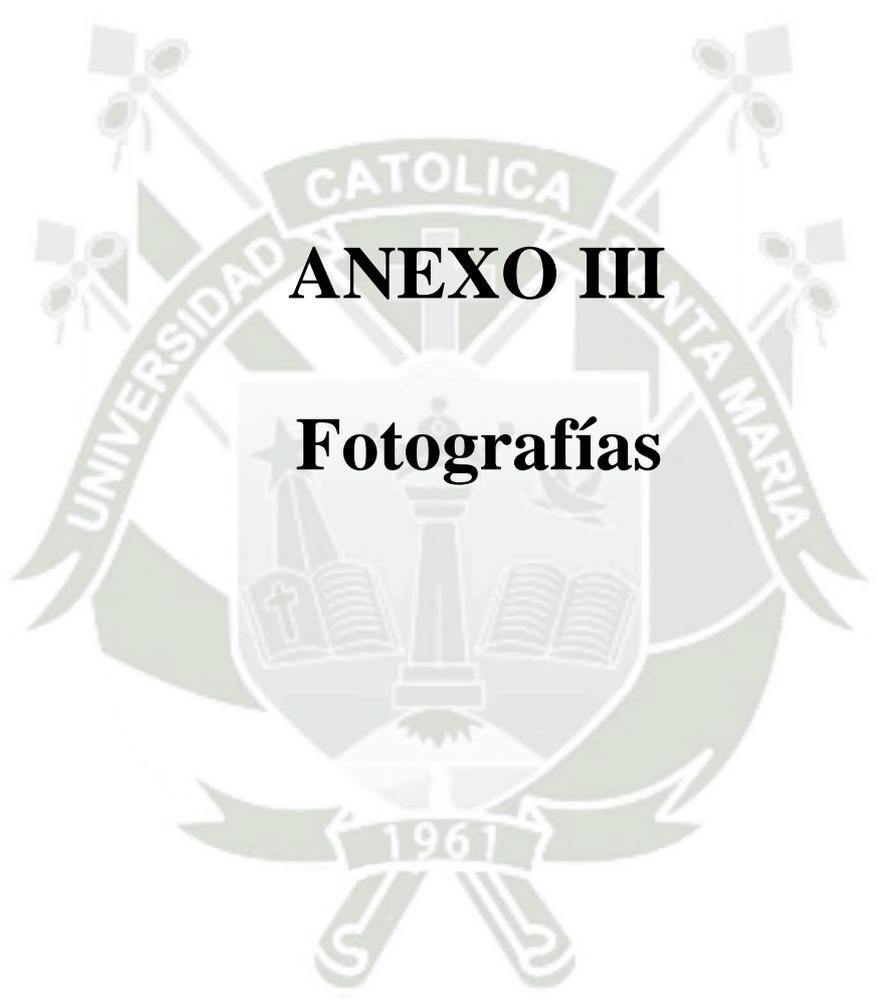
Nota: Tomado de ^[3].

Tabla 101. Parámetros Químicos Inorgánicos y Orgánicos.

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrin y dieldrin	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrin	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04

Nota: Tomado de ^[3].



ANEXO III

Fotografías

Anexo III

Galería fotográfica.



Figura 44. Recolección de muestra de agua para consumo humano.



Figura 45. Almacenamiento de muestras a 4°C.



Figura 46. Recolección de Cladodios de *Opuntia ficus indica*.



Figura 47. Recolección del follaje de *Hylocereus undatus*.



Figura 48. Lavado y desinfección de muestras para la obtención de biofloculante.



Figura 49. Secado de muestras a Temperatura ambiente.



Figura 50. Pesado de muestra de *Opuntia ficus indica*.



Figura 50. Corte de la corteza para obtener el mucílago en cuadrados de *Opuntia ficus indica*.



Figura 51. Pesado después de los cortes en cuadrados de *Opuntia ficus indica*.



Figura 52. Secado de *Opuntia ficus indica* en estufa.



Figura 53. Muestra de *Opuntia ficus indica* en el molino para obtención del polvo.



Figura 54. Tamizado de polvo de *Opuntia ficus indica*.



Figura 55. Pesado del biofloculante obtenido a partir de *Opuntia ficus indica*.

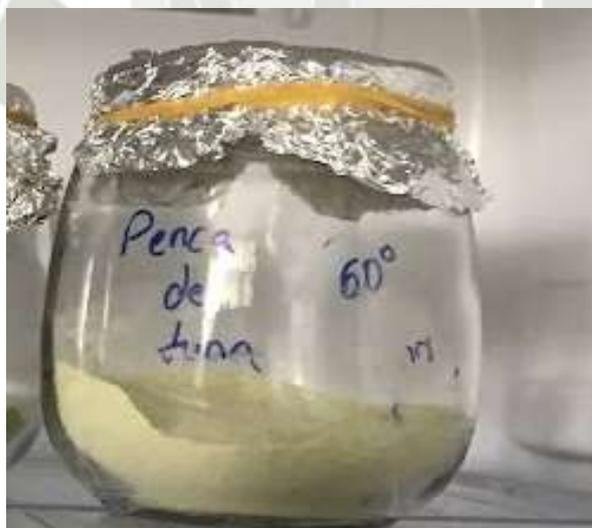


Figura 56. Almacenamiento del biofloculante *Opuntia ficus indica*.



Figura 57. Pesado de follaje de *Hylocereus undatus*.



Figura 58. Pelado de capa del follaje.



Figura 59. Pesado de *Hylocereus undatus* después del corte.



Figura 60. Secado del biofloculante *Hylocereus undatus* en la estufa.



Figura 61. Pesado de *Hylocereus undatus* después de ser sacado de la estufa.



Figura 62. Muestra de *Hylocereus undatus* en el molino para obtención del polvo.



Figura 63. Pesado del biofloculante obtenido a partir de *Hylocereus undatus*.



Figura 64. Obtención de las cáscaras de papa después del pelado y un secado a temperatura ambiente.



Figura 65. Pesado de las cáscaras de papa.



Figura 66. Secado del biofloculante *Solanum tuberosum* en la estufa.



Figura 67. Pesado de *Solanum tuberosum* después de ser retirado de la estufa.



Figura 68. Pulverización de las cáscaras de papa secadas en un molino eléctrico.



Figura 69. Pesado del biofloculante obtenido a partir de *Solanum tuberosum*.

ANEXO IV

Resultados de Análisis del Laboratorio acreditado por el INACAL

Anexo IV. Informe de ensayos de la muestra de aguas destinadas para consumo humano en el
Distrito de Samegua – Moquegua.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 0454- 2022
PÁGINA 1 DE 3

SOLICITANTE : KRISTELL DEL ROSARIO ARENAS PACHECO
DIRECCIÓN : CALLE CALVARIO 211 - MIRAFLORES - AREQUIPA
PRODUCTO DECLARADO : AGUA POTABLE
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO : Líquido transparente.
CODIFICACIÓN / MARCA : M - 1
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE : 02/02/2022 16:10 Procedencia: Moquegua - Samegua.
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA : 01 muestra de 2600 mL aprox. Compuesta por 01 envase de vidrio de 500 mL para análisis MB y 01 envase PET de 1000 mL, 02 envases PET de 500 mL, 01 envase PET de 100 mL para análisis FQ.
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN : En envases de vidrio y polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3,7°C.
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA : Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN : No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO : No especificada
CONTRATO N° : 0151-2022
FECHA DE RECEPCIÓN : 02/02/2022

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso. No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-00-F-05-E Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/18 Elaborado por: QT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
 Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
 e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo V. Resultados de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua -
Moquegua antes del tratamiento con los biofloculantes.

BHIOS
LABORATORIOS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055

INACAL
DA - Perú
Laboratorio Acreditado
Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0454- 2022
PÁGINA 2 DE 3

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA POTABLE M - 1	UNIDADES
FQ	Sólidos Totales	222	mg/L
FQ	Cloro Total (Cl ₂)*	<0.02	mg/L
FQ	Cloro Libre (Cl ₂)*	<0.02	mg/L
FQ	Sólidos Suspendedos Totales	9	mg/L

ABREVIATURAS:
mg/L. Miligramos por litro.

MÉTODOS UTILIZADOS :

Sólidos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2000, Method 2540-B, Solids, Total Solids Dried at 103-105°C, 23rd Ed. 2017.

Cloro Total (Cl₂) : Cloro Total DPD - HACH

Cloro Libre (Cl₂) : Cloro Libre DPD - HACH

Sólidos Suspendedos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2000, Method 2540-D, Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de detección del método.
* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

campo en blanco dejado intencionalmente

PRP-08-F-06-IE Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG

Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo VI. Resultado de Metales totales en la muestra de agua para consumo humano en el .
Distrito de Samegua – Moquegua antes del tratamiento con los biofloculantes.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0454-2022
PÁGINA 3 DE 3

Metales Totales por ICP-MS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA POTABLE M - 1	UNIDADES
FQ	Ag (Plata)*	<0.00005	mg/L
FQ	Al (Aluminio)*	0.51	mg/L
FQ	As (Arsénico)*	0.00259	mg/L
FQ	B (Boro)*	0.178	mg/L
FQ	Ba (Bario)*	0.0321	mg/L
FQ	Be (Berilio)*	0.00003	mg/L
FQ	Bi (Bismuto)*	<0.00004	mg/L
FQ	Ca (Calcio)*	31.11	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)*	0.00002	mg/L
FQ	Ce (Cerio)*	0.00065	mg/L
FQ	Co (Cobalto)*	0.00012	mg/L
FQ	Cr (Cromo)*	0.00072	mg/L
FQ	Cs (Cesio)*	0.00013	mg/L
FQ	Cu (Cobre)*	0.005	mg/L
FQ	Fe (Hierro)*	0.217	mg/L
FQ	Hg (Mercurio)*	<0.0005	mg/L
FQ	K (Potasio)*	3.27	mg/L
FQ	Li (Litio)*	0.01295	mg/L
FQ	Mg (Magnesio)*	4.40	mg/L
FQ	Mn (Manganeso)*	0.0138	mg/L
FQ	Mo (Molibdeno)*	0.00186	mg/L
FQ	Na (Sodio)*	17.25	mg/L
FQ	Ni (Niquel)*	0.0006	mg/L
FQ	P (Fosforo)*	0.05	mg/L
FQ	Pb (Plomo)*	0.0008	mg/L
FQ	Sb (Antimonio)*	0.00017	mg/L
FQ	Se (Selenio)*	0.0001	mg/L
FQ	Si (Silicio)*	17.20	mg/L
FQ	Sn (Estaño)*	0.00014	mg/L
FQ	Sr (Estroncio)*	0.1854	mg/L
FQ	Ti (Titanio)*	0.0142	mg/L
FQ	Tl (Talio)*	<0.00001	mg/L
FQ	U (Uranio)*	0.00029	mg/L
FQ	V (Vanadio)*	0.0033	mg/L
FQ	Zn (Zinc)*	0.015	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Metales Totales por ICP-MS : EPA METHOD 8020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

OBSERVACIONES :

Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de detección del método
* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 02/02/2022 al 08/02/2022
MB 02/02/2022 al 09/02/2022

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 10/02/2022



[Firma]
Elgo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo VII. Informe de ensayos de la muestra de aguas destinadas para consumo humano en el Distrito de Samegua – Moquegua con un tratamiento del biofloculante *Solanum tuberosum* (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio)

BHIOS
LABORATORIOS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055

INACAL
DA - Perú
Acreditado
Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 3634- 2022
PÁGINA 1 DE 4

SOLICITANTE	: KRISTELL DEL ROSARIO ARENAS PACHECO
DIRECCIÓN	: CALLE CALVARIO 211 - MIRAFLORES - AREQUIPA
PRODUCTO DECLARADO	: AGUA POTABLE
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido transparente.
CODIFICACIÓN / MARCA	: M1
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE	: 09/07/2022 10:10 Procedencia: Moquegua - Mariscal Nieto - Samegua.
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA	: 01 muestra de 2600 mL aprox. Compuesta por 01 envase de vidrio de 500 mL aprox. para análisis MB y 01 envase PET de 1000 mL aprox, 02 envases PET de 500 mL aprox., 01 envase PET de 100 mL aprox. para análisis FQ.
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN	: En envases de vidrio y PET cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.5°C.
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA	: Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN	: No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No especificada
CONTRATO N°	: 1123-2022
FECHA DE RECEPCIÓN	: 09/07/2022

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-06-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG
Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo VIII. Resultados de la caracterización físicoquímica de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua – Moquegua con tratamiento del biofloculante *Solanum tuberosum* (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 3634- 2022
PÁGINA 2 DE 4

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA POTABLE MI	UNIDADES
FQ	Sólidos Totales	14	mg/L
FQ	Cloro Total (Cl ₂) ¹	<0.02	mg/L
FQ	Cloro Libre (Cl ₂) ¹	<0.02	mg/L
FQ	Sólidos Suspensivos Totales	<1	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L. Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Sólidos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2000, Method 2540-B, Solids: Total Solids Dried at 103-105°C, 23rd Ed. 2017.
Cloro Total (Cl₂) : Cloro Total DPD - HACH
Cloro Libre (Cl₂) : Cloro Libre DPD - HACH
Sólidos Suspensivos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2000, Method 2540-D, Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105°C, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.
LD: Límite de detección del método.
LC: Límite de cuantificación del método.
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método.

campo en blanco dejado intencionalmente

PRP-06-F-05-E Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2

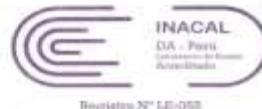
Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo IX. Resultado de Metales totales en la muestra de agua para consumo humano en el Distrito de Samegua – Moquegua con un tratamiento de un biofloculante *Solanum tuberosum* (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 3634- 2022
PÁGINA 3 DE 4

Metales Totales por ICP-MS

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	AGUA POTABLE M1	UNIDADES
FQ	Ag (Plata)*	0.00001	0.00005	<0.00005	mg/L
FQ	Al (Aluminio)*	0.004	0.020	0.13	mg/L
FQ	As (Arsénico)*	0.000004	0.00002	0.00249	mg/L
FQ	B (Boro)*	0.001	0.005	0.364	mg/L
FQ	Ba (Bario)*	0.0001	0.0004	0.0202	mg/L
FQ	Be (Berilio)*	0.000003	0.00002	<0.00002	mg/L
FQ	Bi (Bismuto)*	0.00002	0.00010	<0.00001	mg/L
FQ	Ca (Calcio)*	0.010	0.050	31.25	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)*	0.000001	0.00001	0.00002	mg/L
FQ	Ce (Cerio)*	0.000003	0.00002	0.00016	mg/L
FQ	Co (Cobalto)*	0.000001	0.00001	0.00006	mg/L
FQ	Cr (Cromo)*	0.00001	0.00005	0.00050	mg/L
FQ	Cs (Cesio)*	0.000002	0.00001	0.00007	mg/L
FQ	Cu (Cobre)*	0.0002	0.001	0.005	mg/L
FQ	Fe (Hierro)*	0.002	0.010	0.067	mg/L
FQ	Hg (Mercurio)*	0.0001	0.0005	<0.00005	mg/L
FQ	K (Potasio)*	0.004	0.020	3.60	mg/L
FQ	Li (Litio)*	0.00002	0.00008	0.01270	mg/L
FQ	Mg (Magnesio)*	0.004	0.020	4.31	mg/L
FQ	Mn (Manganeso)*	0.00003	0.0002	0.0042	mg/L
FQ	Mo (Molibdeno)*	0.00002	0.0001	0.0018	mg/L
FQ	Na (Sodio)*	0.010	0.050	17.41	mg/L
FQ	Ni (Niquel)*	0.00001	0.0001	0.0007	mg/L
FQ	P (Fosforo)*	0.004	0.020	0.07	mg/L
FQ	Pb (Plomo)*	0.00004	0.0002	0.0003	mg/L
FQ	Sb (Antimonio)*	0.00002	0.00010	0.0002	mg/L
FQ	Se (Selenio)*	0.00002	0.0001	<0.00001	mg/L
FQ	Si (Silicio)*	0.020	0.100	15.84	mg/L
FQ	Sn (Estaño)*	0.00002	0.00010	<0.00001	mg/L
FQ	Sr (Estroncio)*	0.0001	0.0004	0.1882	mg/L
FQ	Ti (Titanio)*	0.00004	0.0002	0.0029	mg/L
FQ	Tl (Talio)*	0.000004	0.00002	0.00004	mg/L
FQ	U (Uranio)*	0.000003	0.00002	0.00023	mg/L
FQ	V (Vanadio)*	0.0001	0.0004	0.0025	mg/L
FQ	Zn (Zinc)*	0.001	0.003	0.010	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Metales Totales por ICP-MS

: EPAMETHOD 6020 B, Rev. 2014 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

LD: Límite de detección del método.

LC: Límite de cuantificación del método.

Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

Anexo X. Resultados de la muestra de agua para consumo humano del Distrito de Samegua – Moquegua con un tratamiento de un biofloculante *Solanum tuberosum* (mejor porcentaje de remoción en nuestro estudio).

BHIOS LABORATORIOS
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055

INACAL
DA - Perú
Organismo de Normas Acreditado
Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 3634- 2022
PÁGINA 4 DE 4

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 09/07/2022 al 15/07/2022
MB 09/07/2022 al 16/07/2022
FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 18/07/2022

BHIOS LABORATORIOS
19940117005
CALLE 1000 N° 1000
CALLE 1000 N° 1000

BHIO
Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

PRP-06-F-05-E Versión: 00 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAD / Atribuido por : GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo XI. Informe de Ensayo N° 0169.2020.

"AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD"

INFORME ENSAYO N° 0169.2020

I. DATOS DEL SOLICITANTE:

SOLICITANTE	UF-5B-Samegua		
PROGRAMA	VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO		
RESPONSABLE DEL MUESTREO	Elizabeth Choquepata, Carmen Alvarado		
RECEPCION DE LAS MUESTRAS EN LAB.	FECHA:	19/10/2020	HORA: 12:05 PM
FECHA DE EMISION DE RESULTADOS	19/10/2020		

II. DATOS DEL MUESTREO:

Codigo de Laboratorio	Origen de la Muestra	Lugar de Muestreo	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento
1312-1312-2020	Agua Superficial	Ingreso a PTAP Samegua	Samegua	Samegua	Mariscal Nieto	Moquegua
1313-1313-2020	Agua Potable	Salida de PTAP Samegua (Reservorio R-12)	Samegua	Samegua	Mariscal Nieto	Moquegua
1314-1314-2020	Agua Potable	Grifo Samegua (domicilio R-12)	Samegua	Samegua	Mariscal Nieto	Moquegua
1315-1315-2020	Agua Potable	Reservorio RC Cerrillos	Samegua	Samegua	Mariscal Nieto	Moquegua
1316-1316-2020	Agua Potable	Villa Ingenieria B - 1 (domicilio RC Cerrillos)	Samegua	Samegua	Mariscal Nieto	Moquegua

III. RESULTADOS:

Codigo de Laboratorio	Parámetros de Calidad Organoléptica				Turbidez (NTU)	Cloro Residual Libre (mg/L)	Salinidad NaCl (%)	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo
	pH	*CND (µS/cm)	TDS (mg/L)	T (°C)					
1312-1312-2020	7.984	354.0	177.0	17.6	7.74	-	0.5	19/10/2020	9:30 AM
1313-1313-2020	7.780	350.0	172.0	17.1	6.94	1.93	0.6	19/10/2020	9:51 AM
1314-1314-2020	7.691	368.0	184.0	21.6	3.56	1.83	0.6	19/10/2020	10:20 AM
1315-1315-2020	7.669	346.0	173.0	17.9	6.94	1.84	0.6	19/10/2020	10:55 AM
1316-1316-2020	7.754	372.0	186.0	20.5	3.85	1.85	0.7	19/10/2020	11:17 AM

T: Temperatura; CND: Conductividad; TDS: Sólidos Totales Disueltos; µS/cm: microsiemens por centímetro; NTU: Unidad Nefelométrica de Turbidez; mg/L: miligramos por Litro.

METODO DE ENSAYO:

Conductividad (*CND)	Método Conductimétrico APHA 2510 B 21th Ed. 2005
Sólidos Totales Disueltos	Método Electrométrico APHA 2540 C 21th Ed. 2005
pH	Método Electrométrico APHA -AWWA - WEF. 21th Ed. 2005.
Turbidez	Método Nefelométrico APHA, AWW, WEF. 2130B. 21th Ed. 2005
Cloro	Método Colorimétrico (prueba del reactivo DPD)

Moquegua, 29 de octubre del 2020

Ing. Hubert David Quispe Viza
 Registro Colegio Ingenieros N° 105682

Anexo XII. Recibo de agua.

 <p>Servicio de Saneamiento R.U.C. 2054470108 Av. Luis Dávalos Frente a la Plaza de Armas (+51) 822535</p>		NÚMERO DE CLIENTE 0011668										
		FACTURACIÓN Marzo-2023	N° RECIBO N° 389162									
DATOS DEL CLIENTE		HISTÓRICO DE CONSUMO										
CLIENTE MAMANI HUISA RICARDO DIRECCIÓN 01 - CASCO URBANO SAMEGUA Av. ANDRES AVELINO CACERES No S/N CÓDIGO												
DATOS DE FACTURACIÓN		CONCEPTOS DE FACTURACIÓN										
TARIFA Q - DOMESTICA MEDIDOR FACTURACIÓN POR: CONSUMO FACTURADO: Febrero - 2023 CONSUMO MEDIDO:		SERVICIO DE AGUA: S/, 8.47 I.G.V. : 1.53										
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ACTUAL</th> <th>ANTERIOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LECTURA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FECHA</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			ACTUAL	ANTERIOR	LECTURA			FECHA			Red de Agua: CAPTACIÓN OLLERIA	
	ACTUAL	ANTERIOR										
LECTURA												
FECHA												
FECHA DE EMISIÓN 01/03/2023		FECHA DE VENCIMIENTO 24/03/2023	TOTAL A PAGAR *****10.00									
Son: DIEZ Y 00/100 NUEVOS SOLES SR. USUARIO CANCELA ANTES DEL VENCIMIENTO, EVITE EL CORTE DE SU SERVICIO. 8 de Marzo día Internacional de Mujer, No hay nadie que tenga más poder sobre ti que tu misma. Nunca te rindas.												
SAMEGUA Av. ANDRES AVELINO CACERES No S/N N° de Cliente: 0011668 CONSUMO FACTURADO: Febrero - 2023		FACTURACIÓN Marzo-2023	N° RECIBO N° 389162									
		NOMBRE										
FECHA DE EMISIÓN 01/03/2023		FECHA DE VENCIMIENTO 24/03/2023	TOTAL A PAGAR *****10.00									

“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOFLOCULANTES OBTENIDOS A PARTIR DE OPUNTIA FICUS INDICA, HYLOCEREUS UNDATUS, SOLANUM TUBEROSUM Y MEZCLA DE ELLOS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE AGUAS DESTINADAS PARA C

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 repositorio.ug.edu.ec 2%
Fuente de Internet

2 repositorio.unemi.edu.ec 1%
Fuente de Internet

3 repositorio.untels.edu.pe 1%
Fuente de Internet

4 hdl.handle.net 1%
Fuente de Internet

5 repository.unad.edu.co 1%
Fuente de Internet

6 mriuc.bc.uc.edu.ve 1%
Fuente de Internet

7 www.dspace.uce.edu.ec 1%
Fuente de Internet

Submitted to 94839

8

Trabajo del estudiante

1 %

9

repositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

10

repositorio.usil.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado