

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**“EFICIENCIA DE TRES COAGULANTES EN LA REMOCIÓN DE LA  
TURBIEDAD DEL EFLUENTE UASB DEL TANQUE SÉPTICO DEL  
CITRAR-UNI LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**  
Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**  
VARGAS VILCHEZ, MAYRA ALEJANDRA

**Villa El Salvador**

**2020**

## DEDICATORIA

Este trabajo, se lo dedico a Dios por darme vida, salud y sabiduría en estos largos años. Quien estuvo presente en mis triunfos y en los momentos más difíciles, quien supo guiarme por el buen camino.

A mis padres, ya que ellos siempre han sido mi motor y motivo para poder superarme cada día, además, ellos me forjaron a ser la persona que soy actualmente.

A mi mamá quien siempre ha estado allí apoyándome, alentándome, aconsejándome.

A mi papá, por el tiempo que estuvo conmigo compartiendo sus consejos y experiencias, quien físicamente no está conmigo, pero sé que desde el cielo me cuida e interviene para que me vaya bien en cada meta trazada.

A mis hermanos, Adriana y Alonso quienes siempre han estado conmigo alentándome, apoyándome.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar una etapa más de mi vida, por guiarme y enseñarme a superar los obstáculos que se han presentado día a día, por los logros y metas que voy alcanzando.

A la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, por haberme brindado grandes conocimientos durante los cinco años.

A los tesisistas Jimmy y Mali, a la brigadista Maby, al personal de mantenimiento Manuel y Ramses, al personal de laboratorio Margarita quienes siempre estaban dispuestos en apoyarme. Al personal administrativo Luz Marina quien me apoyó solicitando los permisos para usar los laboratorios y equipos; a la ing. Litzta, operadora de planta del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos peligrosos (CITRAR) de la Universidad Nacional de Ingeniería, quién me brindó la información necesaria para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi mamá, quien ha estado allí siempre alentándome, apoyándome, aconsejándome y dando ánimos para seguir adelante.

A mi asesor Robert Richard Rafael Rutte y revisores Edgar Marcelino y Alex Armas, por brindarme su tiempo para orientarme y guiarme a realizar esta investigación.

A mi amigo Julio S.J. por su apoyo incondicional y palabras de ánimo.

## INDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN.....	x
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Antecedentes.....	4
Internacionales .....	4
Nacionales.....	7
2.2 Bases teóricas .....	12
2.3 Marco legal .....	38
2.4 Marco conceptual .....	39
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL .....	41
3.1 Lugar de ubicación .....	41
3.2 Determinación y análisis del problema .....	41
3.3 Materiales y equipos.....	43
3.4 Metodología y procedimiento.....	44
3.5 Resultados.....	61
CONCLUSIONES .....	88
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90
ANEXOS.....	98

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas al emplear coagulantes naturales en la clarificación del agua.....	21
Tabla 2. Índice de Wilcomb.....	23
Tabla 3. Composición química de la Opuntia ficus - indica.....	27
Tabla 4. Composición química de la penca de Opuntia ficus - indica	27
Tabla 5. Propiedades características Físicas y Químicas.....	30
Tabla 6. Especificaciones técnicas .....	31
Tabla 7. Especificaciones .....	36
Tabla 8. Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, D1: riego de vegetales - Agua para riego no restringido. ....	38
Tabla 9. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.	39
Tabla 10. DB05 inicial y final para las 3 corridas de cada coagulante. ....	73
Tabla 11. Remoción de turbiedad óptima de cada coagulante (%)...	74
Tabla 12. Remoción de conductividad óptima de cada coagulante (%) .....	79

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases .....	15
Figura 2. Coagulación por adsorción. ....	16
Figura 3. Coagulación por barrido.....	16
Figura 4. Dosis del coagulante aplicado. ....	19
Figura 5. Diámetros típicos de referencia para la evaluación de “flocs”. .....	23
Figura 6. Cladodios de Opuntia ficus-indica los cuales son usados para el tratamiento de aguas residuales. ....	25
Figura 7. Cladodios de Opuntia ficus-indica. ....	26
Figura 8. Propuesta de estructura para el mucílago de Opuntia ficus- indica .....	28
Figura 9. Frutos de la tara.....	29
Figura 10. Semillas de la tara. ....	29
Figura 11. Semillas y goma de tara. ....	30
Figura 12. Estructura química de la tara. ....	32
Figura 13. Partes de la semilla de la tara.....	33
Figura 14. Proceso de producción industrial de la goma de tara. ....	34
Figura 15. Estructura del sulfato de aluminio. ....	35
Figura 16. Modelo Test de Jarras. ....	37
Figura 17. La dosis óptima.....	37
Figura 18. Mapa de ubicación del muestreo del CITRAR - UNI.....	42
Figura 19. Recolección de muestras de agua del efluente UASB Tanque Séptico del CITRAR – UNI.....	46
Figura 20. Procedimiento de obtención de coagulante de penca de tuna. Fuente: Propia .....	48
Figura 21. Limpieza de la penca de la Tuna. ....	49
Figura 22. Corte en tiras de la penca de la Tuna. ....	49
Figura 23. Después de haber pasado por el proceso de secado durante 48 horas continuas.....	49

Figura 24. Trituración de las tiras de la penca de Tuna, después de haber ido al horno. ....	49
Figura 25. Separación de manera manual de las semillas de la tara. ....	51
Figura 26. El pesado de las semillas de tara. ....	51
Figura 27. Conservación en el desecador de los coagulantes obtenidos en polvo. ....	51
Figura 28. Botellas rotuladas del 1 al 6, los cuales representan las dosis (40, 70, 90, 110, 130,150 mg/L respectivamente).....	53
Figura 29. Pesado de las muestras en la balanza analítica.....	53
Figura 30. Velocidad mínima, rápida y sedimentación en la prueba de jarras. ....	53
Figura 31. Prueba de jarras a diferentes dosis con distintos coagulantes.....	53
Figura 32. Pasos a seguir para la prueba de jarras. ....	54
Figura 33. Estandarización de la conductividad.....	55
Figura 34. Configuración de calibración de electrodos. ....	56
Figura 35. Rotulación de frascos Winkler.....	57
Figura 36. Medición de OD del blanco después de los 5 días. ....	57
Figura 37. Medición de OD del coagulante convencional Sulfato de Aluminio. ....	57
Figura 38. Preparación del agua con nutrientes y su posterior inoculación de la muestra en los frascos Winkler. ....	57
Figura 39. Medición de OD del coagulante natural Opuntia ficus-indica.....	58
Figura 40. Frascos Winkler después de haber salido de incubación por 5 días. ....	58
Figura 41. Diseño experimental .....	59
Figura 42. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando Opuntia ficus – indica. ....	61
Figura 43. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando Opuntia ficus – indica.....	62

Figura 44. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando <i>Caesalpinia spinosa</i> (tara).....	63
Figura 45. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando <i>Caesalpinia spinosa</i> (tara).....	63
Figura 46. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando sulfato de aluminio. ....	64
Figura 47. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando sulfato de aluminio. ....	65
Figura 48. Promedio de turbiedad final para cada dosis empleando <i>Opuntia ficus-indica</i> . ....	66
Figura 49. Promedio de turbiedad final para cada dosis empleando <i>Caesalpinia spinosa</i> .....	66
Figura 50. Promedio de turbiedad final para cada dosis empleando Sulfato de aluminio. ....	67
Figura 51. Variación de turbiedad en la mañana vs los 3 tipos de coagulantes.....	68
Figura 52. Variación de turbiedad en la tarde vs los 3 tipos de coagulantes.....	69
Figura 53. Prueba de efectos inter-sujetos de los 3 tipos de coagulantes.....	70
Figura 54. Variación de la turbiedad final en el turno de la mañana. ....	71
Figura 55. Variación de la turbiedad final en el turno de la tarde. ....	71
Figura 56. Variación de DBO5 con las dosis óptimas de cada coagulante. ....	72
Figura 57. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando sulfato de aluminio.....	75
Figura 58. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando sulfato de aluminio. ....	76
Figura 59. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando <i>Opuntia ficus-indica</i> . ....	77



Figura 60. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	77
Figura 61. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando <i>Caesalpinia spinosa</i> .....	78
Figura 62. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando <i>Caesalpinia spinosa</i> . ....	78
Figura 63. Promedio de temperatura final para cada dosis empleando sulfato de aluminio. ....	80
Figura 64. Promedio de temperatura final para cada dosis empleando <i>Caesalpinia spinosa</i> .....	80
Figura 65. Promedio de temperatura final para cada dosis empleando <i>Opuntia ficus-indica</i> . ....	81
Figura 66. Promedio de pH final para cada dosis empleando Sulfato de aluminio.....	82
Figura 67. Promedio de pH final para cada dosis empleando <i>Caesalpinia spinosa</i> .....	82
Figura 68. Promedio de pH final para cada dosis empleando <i>Opuntia ficus-indica</i> . ....	83
Figura 69. Comparación del índice de Willcomb vs dosis de los 3 tipos de coagulantes.....	84
Figura 70. Comparación de DBO5 con la normativa ECA categoría 3 y LMP. ....	85
Figura 71. Comparación de temperatura con la normativa ECA categoría 3 y LMP.....	85
Figura 72. Comparación de conductividad óptima con las normativas. ....	86
Figura 73. Comparación de pH promedio con las normativas ECA categoría 3 y LMP.....	87

## RESUMEN

El presente proyecto tiene por finalidad evaluar el poder coagulante que tiene el cladodio de *Opuntia ficus-indica* y la goma de *Caesalpinia spinosa* frente al coagulante convencional Sulfato de Aluminio para remover la turbiedad de muestras de aguas del efluente UASB del Tanque Séptico del CITRAR. Para ello, se empleó el test de jarras, el cual simuló el proceso de coagulación, floculación y sedimentación.

Cabe indicar que, se realizó la aplicación de seis dosis iguales para cada coagulante 40, 50, 70, 90, 110, 130 y 150 mg/l. Cuyo objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de tres coagulantes en la remoción de la turbiedad del efluente UASB del tanque séptico del CITRAR-UNI Lima.

La investigación es de tipo aplicada puesto que se llevó a cabo la aplicación del tratamiento en el laboratorio del CITRAR, Cabe mencionar que los monitoreos rutinarios (pH, temperatura, conductividad, turbidez) y la obtención del polvo del cladodio de la tuna y de la goma de la tara se llevaron a cabo en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA – UNI).

Según los resultados obtenidos, se verificó la eficiencia de los tres coagulantes en la remoción de la turbiedad del efluente UASB del tanque séptico del CITRAR-UNI, logrando reducir la turbiedad en un 59.42% al emplear *Opuntia ficus – indica*, 55.78% al emplear *Caesalpinia spinosa* y 91.60% al emplear sulfato de aluminio. Los parámetros fisicoquímicos al emplear *Opuntia ficus – indica* se obtuvo  $DBO_5$  de 62.1 a 122.3 mg/L, pH de 7.75 a 7.78 conductividad eléctrica de 703.7 a 942.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , temperatura de 27.87 a 28.50 °C; al emplear *Caesalpinia spinosa* se obtuvo  $DBO_5$  de 142.4 a 167.9 mg/L, pH de 7.32 a 7.46, conductividad eléctrica de 645.2 a 952.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , temperatura de 27.68 a 27.91°C; y al emplear Sulfato de aluminio se obtuvo  $DBO_5$  de 49.2 a 81.7 mg/L, pH de 7.26 a 7.44 conductividad eléctrica de 724.5 a 940.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , temperatura

de 27.75 a 28 °C; siendo estos parámetros que exceden los Estándares de Calidad Ambiental categoría 3 y los Límites máximos permisibles a excepción de la temperatura, pH y conductividad. La dosis óptima para reducir la turbiedad al emplear Sulfato de aluminio fue de 70mg/L, para *Opuntia ficus-indica* fue de 40mg/L y para *Caesalpinia spinosa* fue de 110mg/L.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El agua es esencial para la vida, del total del agua que existe en la Tierra el 97.5% lo conforman los océanos, el 2.5% el agua dulce y solo el 1% está habilitado para su uso, sin embargo, en las últimas décadas se ha presentado un crecimiento continuo de la población lo que ha conllevado a tener una crisis de agua. (UNEP, 2010).

La presencia de materias múltiples en suspensión da lugar a la turbiedad en el agua, esto impide la penetración de radiaciones luminosas en el agua lo que minimiza a la actividad fotosintética disminuyendo el oxígeno disuelto. Para suprimir estas partículas es necesario optar por los procesos de coagulación y floculación, ante ello Arias, Hernández, Castro y Sánchez (2017) indican que estos procesos consisten en añadir al agua una sustancia denominada “coagulante”, a fin de desestabilizar las partículas coloidales y formar aglutinaciones con mayor peso que el del agua llamados “flóculos” las cuales sedimentan permitiendo su separación en el agua.

En el transcurso del tiempo se ha optado por emplear el coagulante químico sulfato de aluminio por su alta efectividad para remover la turbidez, sin embargo, el uso de este genera efectos negativos significativos a la salud a largo plazo como por ejemplo enfermedades neurodegenerativas como el desarrollo de Alzheimer. (Arias, Hernández, Castro y Sánchez, 2017).

Ante lo mencionado, se ha buscado diferentes opciones con la finalidad de sustituir los coagulantes químicos optando por emplear coagulantes naturales los cuales son inocuos, ecoamigables, fáciles de conseguir y además son económicos.

Las cactáceas son una de las familias muy abundantes en el Perú, especialmente en la sierra puesto que cuentan con una gran cantidad de especies y géneros. La ventaja de estas cactáceas es que cuentan con la capacidad de adaptarse a distintos tipos de

vegetación y medios ecológicos. (De la Cruz, 2014). Estas cactáceas son empleados como fuente alimenticia, forrajera y además cuentan con una gran propiedad medicinal. Asimismo, poseen la capacidad de clarificar aguas, un claro ejemplo es al emplear polvo de las pencas y tallos de algunas cactáceas en aguas residuales.

El nopal en su composición química posee del 60 al 95% de agua, 11.5% de azúcares, 3.12% de pectinas, 1.55% de proteínas y 0.16% de lípidos. Su consistencia gomosa se debe a la presencia de triterpenos glucósidos y galactosa. (Fonnegra, 2007).

La planta de tara es muy reconocida por su poder medicinal, además, en investigaciones recientes se muestran la gran capacidad de utilizarlos como coagulantes naturales, a fin de remover turbiedad en aguas residuales. (De la Cruz, 2014).

Ante lo mencionado, el objetivo de este trabajo de investigación es evaluar la eficacia de 02 coagulantes de tipo natural (*Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa*) frente al convencional (sulfato de aluminio), con finalidad de remover la turbiedad de muestras de agua residual doméstica en este caso del efluente UASB del tanque séptico del CITRAR-UNI; para ello se determinó la dosis óptima del coagulante y los parámetros fisicoquímicos óptimos al emplear estos coagulantes.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

- Evaluar la eficiencia de tres coagulantes en la remoción de la turbiedad del efluente UASB del tanque séptico del CITRAR-UNI Lima.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar los parámetros físicoquímicos al emplear *Opuntia ficus – indica*, *Caesalpinia spinosa* y sulfato de aluminio en el efluente UASB del tanque séptico del CITRAR-UNI.
- Determinar la dosis óptima para reducir la turbidez al utilizar *Opuntia ficus – indica*, *Caesalpinia spinosa* y sulfato de aluminio en el efluente UASB del tanque séptico del CITRAR-UNI.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

- **Internacionales**

Olivero (2013) en su trabajo de investigación titulada Efectividad de producción de lodos residuales. Universidad del Valle. Evaluó la eficacia del extracto de *Opuntia ficus-indica*, trabajando con una dosis de 40mg/L del coagulante y muestras de agua de ríos con turbidez inicial de 276 NTU. Teniendo como resultado la remoción de turbidez hasta el 93.25%. Desde el punto de vista ambiental este coagulante es muy efectivo ya que la producción de lodos residuales con aluminio y de hierro se eliminarían, mayor biodegradabilidad, por lo que genera menor riesgo de toxicidad.

Vaca, López, Flóres, Terres, Lizardi y Rojas (2014) en su trabajo titulado Aplicación del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante primario de aguas residuales. Cuyo objetivo fue evaluar la efectividad del polvo seco de nopal como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales, en el cual se empleó la prueba de jarras. Estas aguas residuales provenían del sistema de drenaje de la Universidad Autónoma Metropolitana con un pH que oscilaba entre 6.8 y 7.1, una DQO de 198 a 215 mg/L y una turbiedad entre 289 y 367 UNT. Se empleó dosis entre 10 y 70 mg/L de polvo de nopal y tiempo de agitación de 3 min a 150 rpm con tiempo de reposo de 30 min. Concluyendo que la turbiedad se redujo desde 65 hasta 92%. Además, se eliminó el 37.9% de la DQO, porcentaje adecuado para un tratamiento primario avanzado.

Revelo, Proaño y Banchón (2015) mencionan en su investigación titulada Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. El trabajo tuvo como objetivo la recuperación de agua residual industrial de una industria textilera empleando *Cesalpinia spinosa* (tara). Se señaló que emplear extractos de tara para tratar aguas residuales

tiene los mismos efectos estadísticos que emplear un coagulante químico (policloruro de aluminio 15%). Se realizaron estudios empleando este coagulante en muestras de agua del río Pelileo – Ecuador, en el cual lograron reducir la turbidez en un 24%, con una concentración de 45 g/L y un tiempo de agitación de 15 min. Además, produjo 85% menos lodo que el policloruro de aluminio y removió en 52% la materia orgánica del agua residual. Asimismo, comprobó en base a sus resultados que, si el efecto de remoción de contaminación coloidal y disuelta mediante monómeros de aluminio es positivo, entonces el agua residual está compuesta de cargas negativas, lo mismo sucede con los extractos de guarango (tara) los cuales son de carácter electropositivo en la desestabilización coloidal, siguiendo mecanismos de neutralización de cargas.

Otro aporte lo hace Alcázar (2015) en su investigación titulada Aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla. Universidad Mayor De San Andrés, La Paz, Bolivia. Realizó estudios a partir del coagulante natural *Opuntia ficus-indica*, a fin de mejorar la calidad del agua del pueblo de Achocalla, para ello recolectó 10 pencas como materia prima, luego las cortó 1 cm de ancho, 1 cm de espesor y 6 cm de largo, luego procedió a secarlos durante 2 días a 60°C, luego las molió y el producto que se obtuvo fue el polvo, este pasó por un proceso de extracción Soxhlet el cual duró 4 horas, se procedió a usar etanol al 96% como solvente y por último se llevó al secado y al pulverizado. Concluyendo que, se obtuvo una remoción promedio óptima de 93.15%.

Kumar, Krishna & Sivasankar (2015) en su investigación titulada Cagulation perfomance evaluation of natural and synthetic coagulants in waste wáter treatment. Cuyo objetivo fue proponer el empleo de *Caesalpinia spinosa*, *Aloe chinensis* y *Caricia papaya* para tratar muestras de agua turbias. Las muestras de agua fueron elaboradas con arcilla común, con la finalidad de obtener una



turbidez de 80-90-100 NTU, se utilizó una dosis de 500 mg de cada coagulante-floculante natural en 1 L de agua para diluir, con velocidad rápida de 80 rpm por 5 min y velocidad lenta de 40 rpm por 25 min. Llegando a la conclusión que, se redujo la turbidez en 65.25% al usar tara, 50% al usar penca de sábila y en 45.80% al usar papaya con la turbidez de 100 NTU. Ante ello, si se requiere que esta muestra de agua sea potable, se debe de realizar tratamientos de desinfección.

Souza et al. (2016) en su investigación titulada Evaluation of using aluminum sulfate and water soluble *Moringa oleífera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. Cuyo fin fue emplear sulfato de aluminio y la lectina de *Moringa olífera* para reducir la turbidez y la toxicidad del agua de la corriente Cavuoco en Brazil. Concluyen que el uso combinado de sulfato de aluminio y la lectina de *Moringa olífera* estos aplicados de manera secuencial fueron muy eficaces para reducir la turbidez (96.8%) y la ecotoxicidad de una muestra de agua contaminada, sin resultar en un alto residuo. La mayor reducción de turbidez se obtuvo al emplear sulfato de aluminio con 96.8% seguido de la lectina de *Moringa olífera*

Por otro lado, Meza, Riaños, Mercado, Olivero & Jurado (2018) mencionan en su investigación titulada Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and *Moringa oleífera* seeds in the clarification process of water in the swamp of Malambo-Atlántico. Cuyo objetivo fue reducir la turbiedad del agua de la ciénaga de Malambo – Atlántico empleando semillas de *Moringa oleífera* y el sulfato de aluminio tipo B. Se empleó el test de jarras para simular el proceso de clarificación. Concluyeron que el coagulante químico disminuye la turbidez en un 96% con dosis de 20 mg/L mientras que las semillas de *Moringa oleífera* reducen un 64% con dosis de 750 mg/L. Cabe mencionar que, con dosis de 40, 60, 80 y 100 mg/L de sulfato de aluminio se redujo la turbidez hasta 0.1 UNT. Sin embargo, la *Moringa oleífera* por su baja toxicidad, es una buena alternativa para reemplazar el sulfato de aluminio.

- **Nacionales**

Montenegro (2019) en su investigación titulada Comparación de la eficiencia del mucílago de *Opuntia ficus-indica* y goma de *Caesalpinia spinosa* en la mejora de la calidad de agua residual de camal. Universidad César Vallejo. Tiene como objetivo comprobar la eficiencia de dos recursos vegetales hidrocoloides, a fin de mejorar la calidad del agua residual del camal. El diseño del trabajo fue cuasi-experimental, en donde se empleó la prueba de jarras para simular los procesos de coagulación y floculación y además, las dosis empleadas fueron 40 ml, 60 ml y 80 ml con una muestra de 8 litros. Se concluyó que la goma de *Caesalpinia spinosa* presentó mayor eficiencia con la dosis de 40 ml con una concentración de 0.01 g/ml, resultando que la turbidez se redujo en 97.19%, y DQO en 60.21%.

La remoción de turbidez del agua, mediante el uso de los coagulantes naturales *Opuntia imbricata* y *Opuntia microdasys*, no han tenido éxito ha comparación con la del *Opuntia ficus*. Tal como sostiene Pompillo (2013) en su trabajo de investigación titulado Uso de floculantes de origen natural en el tratamiento del agua en términos de turbidez en el río Santa – Huaraz. Cuyo objetivo fue reducir la turbidez empleando coagulantes naturales en el río Santa-Huaraz. Se obtuvo una mayor eficiencia al emplear *Opuntia ficus* en la muestra del agua del Rio Santa, siendo esta el 75.4% de remoción de turbidez total. Por lo tanto, el desafío actual es seguir realizando investigaciones con estas especies de *Opuntia*.

La goma extraída de las semillas de *Caesalpinia spinosa*, ha sido muy estudiado en los últimos años por su poder de remoción de turbiedad en muestras de aguas. Tal como lo afirman Bravo y Gutiérrez (2016) en su investigación titulada Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del rio Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (tara). Cuyo objetivo fue evaluar la utilización de un floculante natural extraído

de semillas autóctonas de *Caesalpinia spinosa*, a fin de descontaminar aguas del río Pollo en Otuzco, mediante el ensayo con la prueba de jarras. Concluyen que al usar la mayor concentración de este coagulante natural (3000ppm) en el agua del río Pollo en Otuzco, se removi6 entre el 66.19% y 79.06% la turbidez del agua, con una agitaci6n r6pida de 200 rpm durante 1 min y medio, una agitaci6n lenta de 45 rpm por 25 min y con la concentraci6n de floculaci6n de 2000 y 3000 ppm. Cabe mencionar, que este resultado es sin haber simulado el proceso de filtraci6n. Por lo que, ante lo mencionado se debe de seguir realizando pruebas con mayor concentraci6n de este coagulante, a fin de determinar si son proporcionales con la variable de remoci6n de turbidez.

El *Opuntia ficus-indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*, son coagulantes naturales que han demostrado ser muy eficientes en cuanto a la remoci6n de turbidez en tratamientos de agua. As6, como lo manifiesta Moreno (2016) en su trabajo de investigaci6n titulado Disminuci6n de la turbidez del agua del r6o crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*. Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Per6. Cuyo objetivo general fue determinar la disminuci6n de la turbidez del agua del r6o Criznejas que consume la poblaci6n de Chuquibamba – Cajabamba utilizando *Opuntia ficus-indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*. Llegando a concluir que se redujo la turbidez a 61.09% al usar *Opuntia ficus-indica*, 48.47% al usar *Caesalpinia spinosa* y 42.48% al usar *Aloe vera*.

Por otro lado, Huachaca y Gonz6les (2017) en su investigaci6n titulada Aplicaci6n de un dise6o factorial 2<sup>4</sup> en la remoci6n de turbiedad del r6o R6mac mediante la coagulaci6n y floculaci6n usando goma de tara. Universidad Peruana Uni6n. Se han realizado bastantes investigaciones respecto al proceso de coagulaci6n – floculaci6n haciendo uso de coagulantes naturales, puesto que estos evitan contaminar el ambiente y adem6s, son ecoamigables. Huachaca y Gonz6les sostienen que los procesos de coagulaci6n y floculaci6n son usados para eliminar part6culas en suspensi6n en el tratamiento de aguas.

El objetivo de su investigación fue determinar la remoción de turbiedad del río Rímac empleando goma de tara, para ello empleó 16 experimentos analizando cuatro factores: dosis del coagulante, pH, velocidad de mezcla lenta y rápida, y la variable turbiedad (dependiente). Para ello empleó la metodología de la prueba de jarras, a fin de determinar valores óptimos. Se llegó a la conclusión que los variables significativos para la remoción de turbiedad son la dosis del coagulante, pH, mezcla rápida y lenta, con las concentraciones de 2% de  $(Al_2SO_4)_3$  y dosis óptima de 5 ml; goma de tara a una concentración de 0.1% y una dosis de 10 ml, con el nivel de significancia de 5%.

La *Caesalpinia spinosa* también ha demostrado ser eficiente en muestras de agua de los Pantanos de Villa. Así, como lo indican Ayala y Coronel (2017) en su trabajo de investigación titulado Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del refugio de vida silvestre pantanos de Villa utilizando semillas de *Caesalpinia spinosa* (tara). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú. El objetivo fue evaluar la eficiencia de semillas autóctonas de *Caesalpinia spinosa* (tara), a fin de reducir la contaminación de aguas de la laguna La Maravilla – en Chorrillos. Concluyendo que el porcentaje (%) de remoción de la turbidez fue de 79.06%, que la concentración óptima fue de 3000 ppm, un pH relativamente neutro, la velocidad rápida mayor fue de 300 rpm por 1 minuto y medio, y la velocidad lenta fue de 45 rpm por 25 minutos. Cabe mencionar, que los pH de las muestras fueron cercanos al neutro.

Estudios sobre la remoción de turbiedad aplicando goma de tara en tratamiento de aguas, nos demuestran que este coagulante es muy eficiente. Así, como lo manifiesta Romero (2018) en su investigación titulado Cálculo de la relación de pH, concentración y nivel cantidad de la especie *Caesalpinia spinosa* para remover turbiedad en el periodo de avenidas para el río Paria, Huaraz-Ancash-2016. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. Cuyo objetivo fue determinar el comportamiento de la goma de tara en la remoción de turbiedad. En el cual concluye que el porcentaje (%) de eficiencia de la goma de tara es

de hasta 12.59 UNT, con el 51.39% de eficiencia siendo este el valor más bajo de remoción y el valor más alto fue de hasta 15.53 UNT, con el 70.31% de eficiencia de remoción. Además, para lograr una óptima remoción de turbiedad se debería de usar una dosis de 35 mg/lit, una concentración de 3.2% y un pH óptimo de 7.5. Cabe indicar, que no se logró cumplir con el D.S. N° 031-2010-SA, reglamento para el consumo humano, puesto que este acepta como máximo valor de turbidez 5 UNT. Por lo que, ante lo indicado líneas arriba, se debe de usar estas aguas para riego.

Al utilizar goma de *Caesalpinia spinosa* como coagulante natural, estas deben de ser en dosis menores, puesto que tienden a coagularse. Ante lo mencionado, Terrones (2019) en su investigación titulada Dosis óptima de la goma *Caesalpinia spinosa* para la mejora de la calidad del agua del río Chancay – Lambayeque. Entre sus objetivos está dosificar la goma de tara para el agua del río y aplicar estas dosis de coagulante mediante la prueba de jarras. Se realizó ensayos con muestras de agua del río Chancay – Lambayeque, con este coagulante a dosis de 1, 2, 3 y 4 gramos. Concluyendo que la dosis más eficiente es de 4gr en el cual obtuvo 54.84% de remoción de turbiedad, 99.11% de eficiencia de  $DBO_5$  y 97.72% de eficiencia de DQO. Además, con la dosis óptima, en este caso con la de 4gr se logró cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental establecido en el DS 004-2017-MINAM para el consumo humano.

En el transcurso de los años se ha realizado ensayos con diferentes coagulantes naturales, a fin de poder encontrar a la más eficiente. Ante lo indicado, Sáenz (2019) realizó su trabajo de investigación titulado Comparación de la eficiencia de *Moringa oleifera* y *Caesalpinia spinosa* para mejorar la calidad del agua residual del Dren 2000. Cuyo fin fue comparar la eficiencia de cada uno de ellos. Llegando a la conclusión que la dosis óptima para el polvo de la semilla de la *Moringa Oleífera* es de 0.75 gr, reduciendo el pH de 7.22 a 4.41; puesto que disminuyó la turbidez a 84%, la  $DBO_5$  a 36.6% y la DQO a

81.7%. Cabe indicar, que la dosis óptima para la *Caesalpinia spinosa* es de 1 gr, reduciendo el pH de 7.22 a 4.43, el porcentaje (%) de remoción de turbidez a 71.6%, la  $DBO_5$  a 28.8% y la DQO a 54.7%.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Agua residual**

Según Romero (2004) esto comprende residuos líquidos generados en zonas residenciales, viviendas, comerciales o institucionales, en el cual sus componentes tanto físicos, químicos y naturales han sido alterados.

#### **Agua residual doméstica**

El agua residual presenta gran cantidad de materia orgánica, detergentes y grasas los cuales son evacuadas hacia el alcantarillado, estos sistemas no cuentan con una cobertura total en muchas zonas del país, lo que conlleva que muchos de estos residuos sean vertidos a cuerpos de agua sin ningún control ni tratamiento. (Barba 2002).

Además, se caracterizan por pertenecer a las actividades domésticas de la vida diaria. Cabe mencionar que, en este proyecto de investigación utilizaré la muestra de agua del CITRAR – UNI, el cual se abastece de agua de la urbanización El Ángel y el Milagro del distrito de Independencia.

#### **Tanque séptico**

Bastidas & Palomino (2013) indican que un tanque séptico es usado para recepcionar la descarga de agua residual el cual proviene de residencias individuales y de instalaciones que no cuenten con red de alcantarillado.

La sedimentación y la digestión ocurren en el mismo recipiente, los sólidos sedimentables forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico. Las grasas, aceites y materiales ligeros se acumulan en la superficie, por lo que forman una capa flotante de espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo.

El mantenimiento del tanque séptico tiene como fin prevenir que se acumulen residuos sólidos en su interior y además evitar el escape de sólidos por el afluente.

### **Efluente UASB Tanque Séptico**

Fue investigado antes que nada para el tratamiento de aguas residuales en condiciones ambientales holandesas e indonesas por Lettinga y sus colaboradores. Lettinga (1991,1993), Bogte (1993).

Estudios con UASB Tanque Séptico que tratan aguas residuales domésticas son escasos y hasta antes del 2005 solo se condujo la utilización de este sistema para el tratamiento de aguas residuales in situ, en condiciones ambientales holandesas e indonesias por Lettinga y sus colaboradores. Lettinga (1991,1993), Bogte(1993).

## **2.2.2 Coagulación y floculación**

### **2.2.2.1 Teoría de la coagulación y floculación**

De acuerdo a Bratby (2006) en donde indica que en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) el proceso de coagulación-floculación tiene la finalidad de remover las partículas que no son capaces de precipitarse en un tiempo razonable (30 a 60 min) por su pequeña dimensión puesto que la mayoría es menor a 10  $\mu\text{m}$ .

En cuanto a las etapas del proceso de coagulación-floculación AWWA (1990) manifiesta que estas se llevan a cabo en 2 tipos de tanques los cuales deben de estar ubicados en serie, en el cual el primer tanque se refiere a la mezcla rápida donde se lleva a cabo la hidrólisis del coagulante y además, se desestabiliza la carga de las partículas y en el segundo tanque se refiere a la mezcla lenta en donde ocurre el contacto entre las partículas desestabilizadas, finalmente estas se agrupan en microflóculos.



### **2.2.2.2 Coagulación**

Es el proceso de desestabilización de las partículas suspendidas, lo que provocará las fuerzas de separación entre ellas, estas reacciones se llevan a cabo al añadir un reactivo químico a la muestra de agua, originando productos insolubles. “El reactivo químico agregado debe de neutralizar la carga de los coloides generalmente electronegativos, presentes en el agua, y formar un precipitado” (Apaza, 2013).

#### **A) Mecanismo**

Duan y Gregory (2003) indican que la desestabilización de la carga eléctrica en su superficie se lleva a cabo por los mecanismos fisicoquímicos:

- Comprensión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

#### **B) Etapas**

Para el proceso de coagulación el periodo de tiempo es muy corto y se presentan las siguientes etapas (Figura 1):

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido.

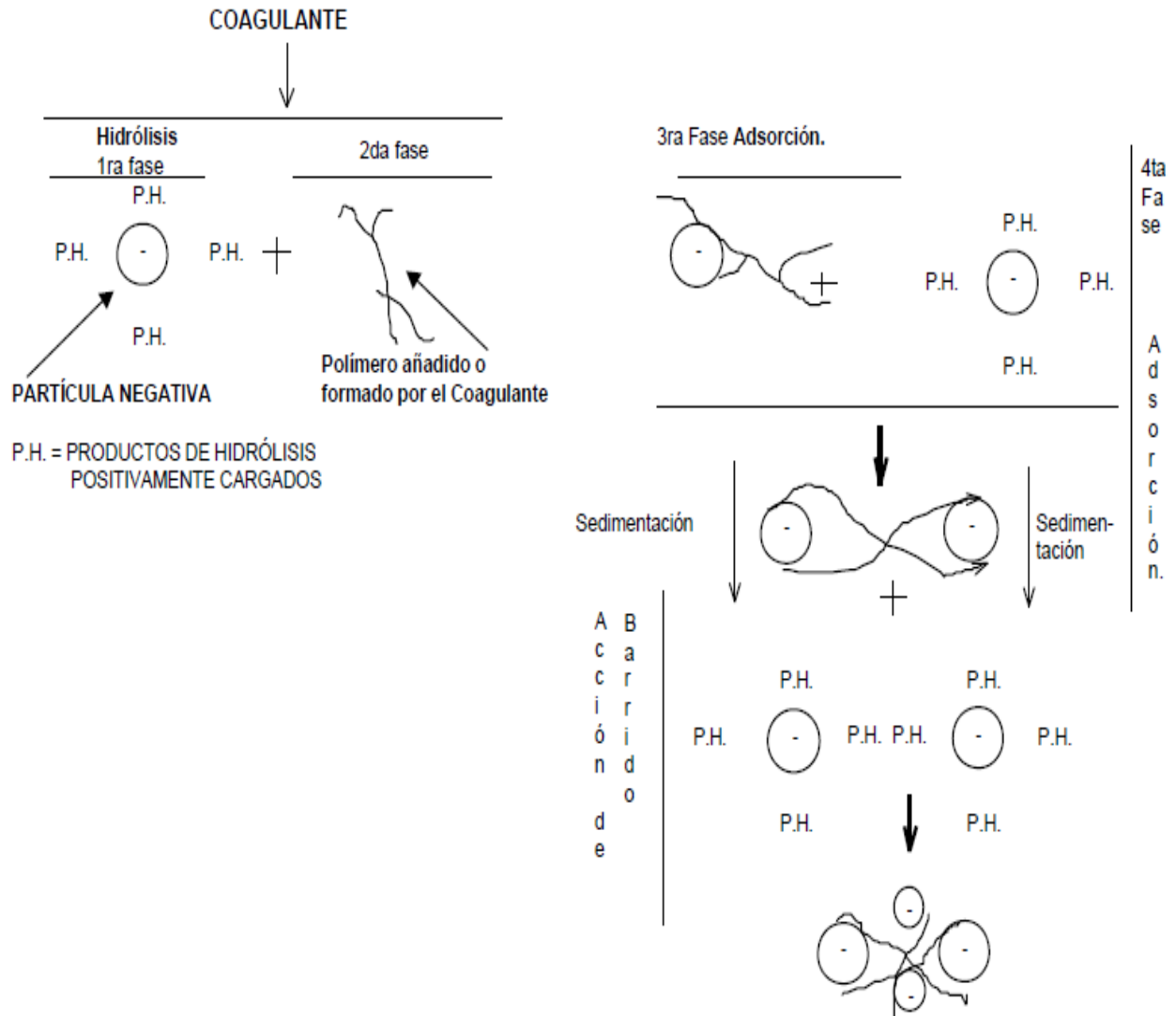


Figura 1. Fases

### C) Tipos de coagulación

- **Coagulación por adsorción**

Andia et al. (2000) manifiestan que esto ocurre cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando se añade el coagulante al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los colides y forman de manera instantánea flóculos.

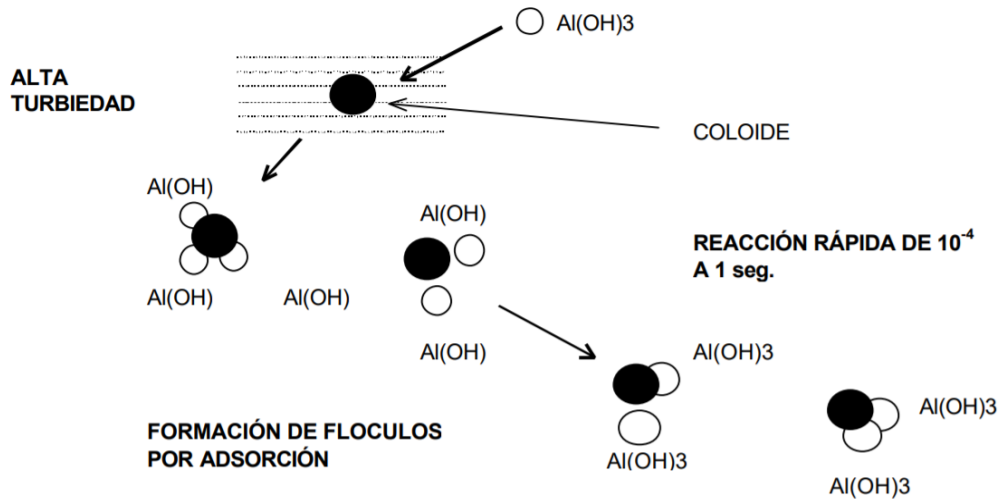


Figura 2. *Coagulación por adsorción.*

- **Coagulación por barrido**

Según Andía et al. (2000) esto se lleva a cabo cuando el agua tiene baja turbiedad y la cantidad de partículas coloides es pequeña, por lo que las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

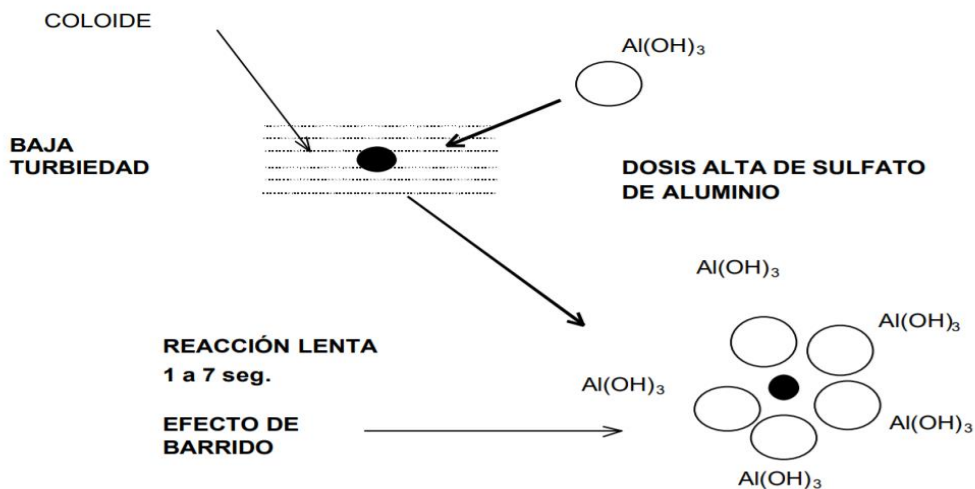


Figura 3. *Coagulación por barrido.*

## D) Factores que influyen

Con la finalidad de mejorar el proceso, se debe de tener en cuenta lo siguiente (Díaz, 2014):

- **pH**  
Es la medida de actividad del ión hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$pH = -\log\{H^+\}$$

El pH es una variable importante en la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, esto depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

Para sales de aluminio el pH para la coagulación varía de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades.

- **Temperatura del agua**

La formación de corrientes de densidad de diferentes grados que alteran a la energía cinética de las partículas en suspensión, se da por la variación de 1°C en la temperatura del agua, debido a ello la coagulación se hace más lenta; las temperaturas muy elevadas también perjudican a la coagulación.

Al variar en 1°C de la temperatura del agua de decantación conllevará a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

Las reacciones de hidrólisis de las sales metálicas (sulfato de aluminio) se ven influenciadas por las fluctuaciones de la temperatura, lo mismo

sucede con el caso del equilibrio entre la fase sólida y las especies en solución de las sales. Como lo manifiestan Duan y Gregory (2003) quienes indican que, en el caso del sulfato de aluminio, la reducción de T(°C) en el agua provoca que el hidróxido de aluminio y especies positivas, los cuales provienen de la hidrólisis, formen valores de pH mayores a los que se formaría a 25°C.

- **Dosis del coagulante**

La cantidad del coagulante influye de manera directa en la eficiencia de la coagulación (Figura 2):

Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual será elevada.

Alta cantidad del coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, lo que conlleva a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo que la turbiedad residual es elevada.

Mediante el test de Jarras, se determinará la selección del coagulante y cantidad óptima de aplicación.

La selección del coagulante y la dosis cumplen un rol muy importante respecto:

- La óptima o pésima calidad del agua clarificada.
- El óptimo o pésimo funcionamiento de los decantadores.

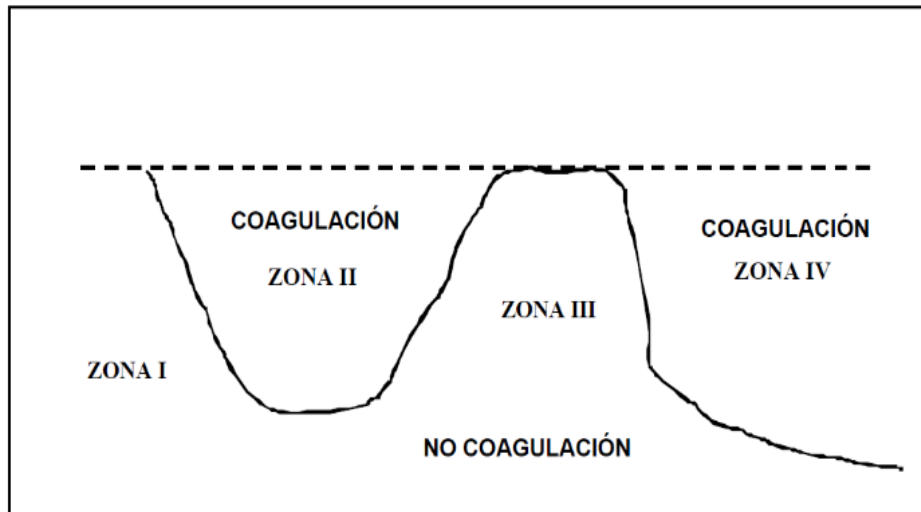


Figura 4. Dosis del coagulante aplicado.

- **Turbiedad**

La turbiedad del agua superficial se debe a las partículas cuyos diámetros varían entre 0.2 a 5µm. La coagulación de estas partículas es sencilla de realizar cuando el pH se encuentra en el rango óptimo. Estas variaciones de concentración de partículas permiten predecir lo siguiente: (Andía, De Vargas y Barrenechea; 2000)

- Para cada turbiedad existe una dosis de coagulante, en el cual la turbiedad más baja va a corresponder a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza de manera complicada y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuera alta.
- Cuando la turbiedad es muy elevada, se debe de realizar una presedimentación ya sea de manera natural o forzada.

- Más fácil es coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

- **Mezcla – agitación**

A fin de determinar si la coagulación es completa, se va a establecer el grado de agitación que se le da a la masa de agua durante la adición del coagulante, con la finalidad de haber producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente, tal como lo manifiesta Andía (2000).

Durante los procesos de coagulación y floculación, se realizará la mezcla de productos químicos, los cuales se llevarán a cabo en 2 etapas. La primera, llamada mezcla rápida, el cual se refiere a la mezcla enérgica el cual tiene una duración máxima de 60 segundos y tiene como finalidad dispersar todo el coagulante dentro del volumen del agua que se va a tratar. La segunda, llamada mezcla lenta, tiene como objetivo desarrollar microflóculos.

### **E) Ventajas y desventajas de los coagulantes empleados**

A continuación, Arnal, García, Sancho y Lora (2006) detallan lo siguiente (Tabla 1):

Tabla 1

*Ventajas y desventajas al emplear coagulantes naturales en la clarificación del agua*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
-Produce un lodo artificial que es tratado con mayor facilidad y eficacia.	-Alteración del pH del agua.
-Remueve la turbidez orgánica o inorgánica que no puede sedimentarse sencillamente.	-Gran crecida del consumo de la cal para estabilizar pH.
-Erradicación de patógenos.	-Dependencia de las características fisicoquímicas del agua.
-Costos bajos de producción.	-Dosis mayores.
-Desbarata algas y plancton en general.	-Depende de la velocidad de agitación del agua.
-Remueve el color verdadero y aparente.	-Requiere personal para la recolección.

### **2.2.2.3 Floculación**

Según Puentes (2005) este proceso reside en la agitación de la masa coagulada, el cual permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados, a fin de aumentar el tamaño y pesos necesarios para sedimentar con mayor facilidad.

Los principales factores son:

- La naturaleza del agua
- El cambio de caudal



- La intensidad de agitación
- El tiempo para la floculación
- El número de compartimentos de la unidad

#### **2.2.2.4 Sedimentación**

Es la eliminación de partículas que se encuentran suspendidas en la masa de agua y ello se da mediante el efecto gravitacional. Cabe indicar que, el peso del fluido debe de ser menor que el peso de las partículas. Además, Maldonado (2004) menciona que se debe de tener en cuenta que estas partículas sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas.

##### **a) Índice de willcomb**

El índice de Wilcomb (Tabla 2), permite asignar un valor cualitativo para poder calificar la formación más consistente y rápida de sedimentar, de los “flocs”. A continuación, se presenta un diagrama con las dispersiones típicas y dimensiones de los “flocs” formados (Figura 5). (Giordani, Gonzáles, Morales, Quijano y Tejada; 2008).

El índice de Willcomb consiste en observar la forma como se desarrolla el floc en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver un agua más cristalina entre las partículas coaguladas. (Giordani, Gonzáles, Morales, Quijano y Tejada; 2008).

Tabla 2

*Índice de Wilcomb*

Índice de wilcomb	Descripción
0	Ausente: Floc Coloidal: Ningún signo de aglomeración.
2	Visible: Floc muy pequeño; casi imperceptible para observador no entrenado.
4	Dispersión: Floc muy bien formado pero distribuido en toda la columna de agua (sedimentación excesivamente lenta o nula).
6	Claro: Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno: Floc que se deposita fácil y completamente.
10	Excelente: Floc que se deposita totalmente, dejando el agua cristalina.

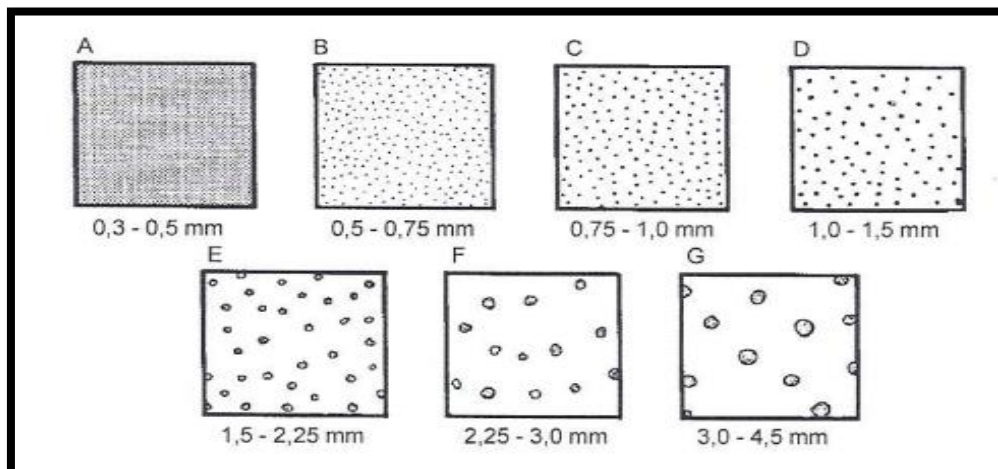


Figura 5. *Diámetros típicos de referencia para la evaluación de "flocs".*

### 2.2.2.5 Parámetros

- **Turbidez**

Según Castaño (2011) es la propiedad que explica la opacidad o claridad de un líquido. La turbidez de la masa de agua se debe a la presencia de arenas, lodos, limo u otros precipitados químicos, puesto que generan partículas suspendidas, materia en suspensión, materia orgánica e inorgánica; se expresan en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Como lo manifiestan López et al. (2015) este parámetro mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para oxidar la materia orgánica presente en aguas residuales y se mide en 5 días a 20°C después que se inicie el proceso; se expresan en mgO<sub>2</sub>/l.

- **pH**

Como lo indican Delgadillo et al. (2010) este parámetro señala la concentración de los iones de hidrógeno en una disolución. Además, puede ser: ácida, neutra o alcalina.

- **Conductividad**

Según Castrillon (2012) es la medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos, los cuales son removidos en cierta proporción mediante los procesos de coagulación y la floculación.

- **Temperatura**

De acuerdo con Castrillon (2012) este parámetro transmuta el tiempo de formación del flóculo, mientras más fría se encuentre la masa de agua más lenta será la reacción del agente coagulante y por ende el tiempo de formación del flóculo será mayor. Este mide cuan caliente o frío se encuentra

una sustancia, puede ser medido en escala de Kelvin, Celsius, Fahrenheit, Reaumur y Rankine.

### 2.2.2.6 Coagulantes naturales y sintéticos

Los coagulantes naturales son polímeros naturales inocuos y ecoamigables los cuales son empleados en el proceso de coagulación y floculación, con la finalidad de remover partículas coloidales presentes en el agua. Así como lo manifiesta Lopez (2018), en el cual indica que esto es muy similar al coagulante químico, pero con la diferencia que al emplear un coagulante natural se garantiza la remoción de microorganismos de origen patógeno. Estas presentan una mínima o nula toxicidad, en la mayoría de casos son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y proteínas solubles en el agua.

#### A) Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Son plantas arbustivas, arborescentes, los cuales se caracterizan por poseer un tronco leñoso muy definido, con ramificaciones esparcidas. Ríos y Quintana (2004) manifiestan que las características físicas del *Opuntia ficus – indica* son las siguientes (Figura 6 y 7):

- Pueden llegar a medir hasta 5 m de alto, sus pencas alcanzan los 30 a 50 cm de ancho y 2 cm de espesor,
- Son de color verde opaco
- La mayoría posee espinas, flores y frutos de forma ovalada de color naranja, rojo o amarillo.



Figura 6. Cladodios de *Opuntia ficus-indica* los cuales son usados para el tratamiento de aguas residuales.



Figura 7. Cladodios de *Opuntia ficus-indica*.

#### a) Taxonomía de la tuna

Según Romero (1990) la taxonomía de la tuna es:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Cactaceae
- Subfamilia: Opuntioideae
- Género: Opuntia
- Especie: ficus-indica
- Nombre binomial: *O. ficus-indica*

#### b) Composición química de la planta

Según investigaciones recientes Aquino et al (2012) menciona que los análisis arrojaron alta cantidad de antraquinonas y carbohidratos los cuales contienen esta planta, los cuales gran cantidad se encuentran en los tallos lechosos, lo cual es de gran ayuda en el proceso de coagulación y desinfección del agua.

En la Universidad San Francisco Xavier (Facultad de Bioquímica) se realizaron diferentes investigaciones en cuanto a la composición química de la tuna (Tabla 3), en el cual según Romero (1990) se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3

*Composición química de la Opuntia ficus - indica*

<b>Componente</b>	<b>Planta (%)</b>
Proteína Bruta	1.55
Lípidos	0.26
Carbohidratos	11.50
Fibra cruda	-
Pectinas	3.12
Cenizas	-
Agua	93.57

### c) Composición química de la penca

En la Universidad San Francisco Xavier (Facultad de Bioquímica) se realizaron investigaciones en cuanto a la composición química de la penca de la tuna (Tabla 4), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4

*Composición química de la penca de Opuntia ficus - indica*

<b>Rubro</b>	<b>Composición (%)</b>
Proteína Bruta	11.6
pH	5.0
Grasa	2.4
Carbohidratos	64.2
Fibra Cruda	7
Cenizas	12.6
Humedad	92



## B) Tara (*Caesalpinia spinosa*)

También conocida como Taya, es una planta procedente del Perú empleada desde la época prehispánica en la medicina folclórica y en años recientes, como materia prima en el mercado mundial de hidrocoloides alimenticios; con el nombre científico *Caesalpinia spinosa*. Sus características son las siguientes:

- Sus hojas son en forma de plumas, parcadadas ovoides y brillante ligeramente espinosa de color verde oscuro y miden aprox. 1.5 cm de largo.
- Sus flores son de color amarillo rojizo, dispuestos en racimos que oscilan de 8cm a 15 cm de largo.
- Sus frutos son vainas explanadas e indehiscentes de color naranja de 8cm a 10cm de largo y 2cm de ancho, contienen de 4 a 7 gr de semillas redondeadas de 0.6 cm a 0.7 cm de diámetro y son de color pardo negruzco cuando están maduros (Figuras 9 y 10).



Figura 9. Frutos de la tara



Figura 10. Semillas de la tara.

### a) La goma de Tara

También conocido como harina de semillas de tara (Figura 11), este es un aditivo natural el cual es obtenido de las semillas de *Caesalpinia spinosa*. Además, Díaz (2010) indica que esta goma es un polvo de color blanco-amarillento, el cual es soluble en agua caliente y parcialmente



soluble en agua fría. Según Villanueva (2007) las semillas de la tara están compuestas por germen (37%), cáscara (39%) y goma (24%).



Figura 11. Semillas y goma de tara.

### b) Características físicas y químicas

Las características físicas y químicas de la tara se presentan en la Tabla 5:

Tabla 5

#### *Propiedades características Físicas y Químicas*

<b>Características</b>	<b>%</b>
Polvo de color beige claro	
Granulometría	95% en 200 mesh. y 5% en 150 mesh
Taninos	57-60%
No taninos	4%
Insolubles	2,5%
Insolubles en ácido	<8%
Agua	3,5%
Contenido de hierro	<280 mg/kg
pH	3,4%
Puntos rojos	0,8%
Puntos amarillos	1,2%

### c) Especificaciones técnicas

Las características especificaciones técnicas de la tara se presentan en la Tabla 6:

Tabla 6  
*Especificaciones técnicas*

<b>Textura</b> <b>Características</b>	<b>Gruesa</b>	<b>Fina</b>
Aspecto	Sólido, polvo grueso	Sólido, polvo fino
Color	Beige claro	Beige claro
Olor	Característicos	Característicos
Taninos	Mínimo: 42%	>52%
No taninos	<18%	<18%
Insolubles	<20%	<20%
Humedad	<10%	<10%
pH A 6,9 °Be	3 á 4	3 á 4
Puntos rojos	0,90 UL	0,90 UL
Puntos amarillos	1,40 UL	1,40 UL
granulometría	Malla 80, min.80%	Malla 100, min.98%

### d) Composición química de la goma de Tara

Está constituido por polisacáridos de gran peso molecular, un claro ejemplo los galactomananos. El componente primordial consiste en una cadena lineal de unidades (1-4)- $\beta$ -D-manopiranososa (manosa) con unidades de  $\alpha$ -D-galactopiranososa (galactosa) unidas por enlace (1-6).

La presencia de unidades secundarias de galactosa tiende a inhibir la agregación, por ello las gomas con más cadenas laterales o secundarias son más rápido de disolver en agua (FSANZ, 2006).

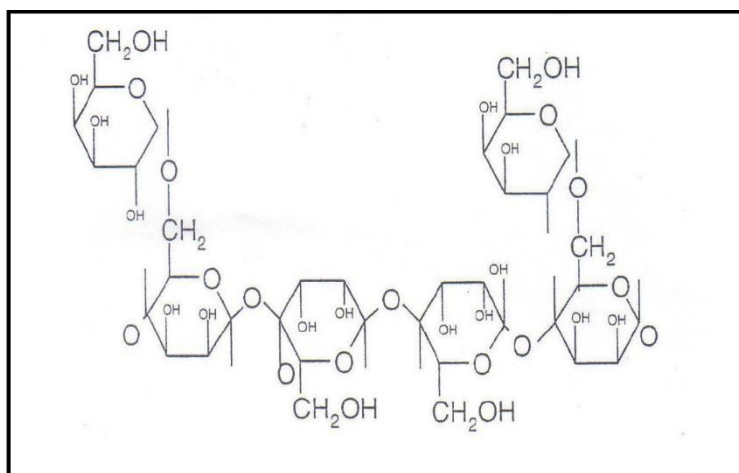


Figura 12. Estructura química de la tara.

Según Vargas y Javier (2015) Los taninos de la tara pueden actuar en forma clarificadora, por la gran cantidad de proteínas, además estas contienen elementos los cuales son usados como decolorantes y antioxidantes, asimismo cuentan con un peso molecular considerable y en la mayoría de casos está compuesta por polisacáridos los cuales presentan características gelificantes.

#### e) Procesamiento de la goma de Tara

Para poder separar el endosperma de la cáscara y del germen (Figura 13), se emplean diversos métodos. Ante lo mencionado, Díaz (2010) expresa que éstos se separan por un proceso térmico-mecánico, para lo cual se hace uso de una molienda diferencial, puesto que cada componente tiene una determinada dureza. Después, se procede a clasificar e ingresar a un selector óptico, terminando con una limpieza al 100%. El endosperma, que contiene 80% galactomano, se muele con la

finalidad de obtener un polvo fino, esto se realiza en varias fases y cernidos (Figura 14).

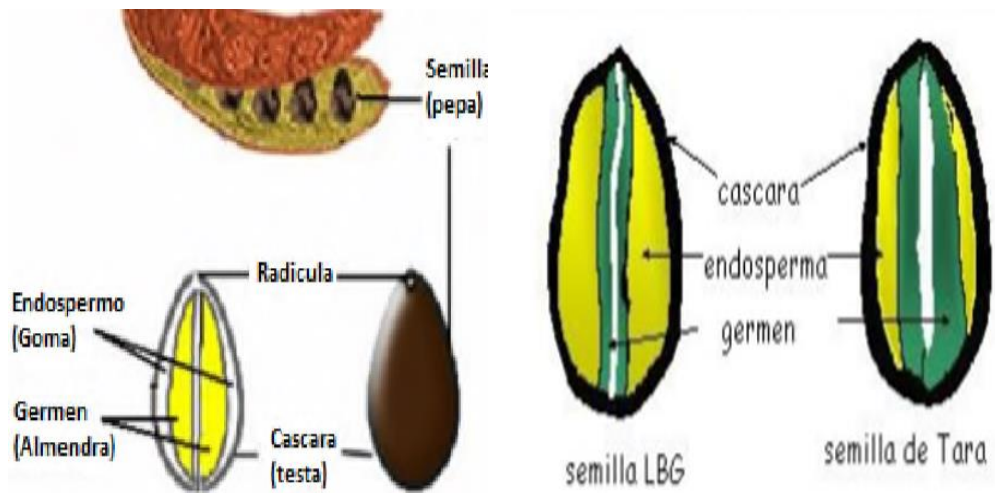


Figura 13. Partes de la semilla de la tara.

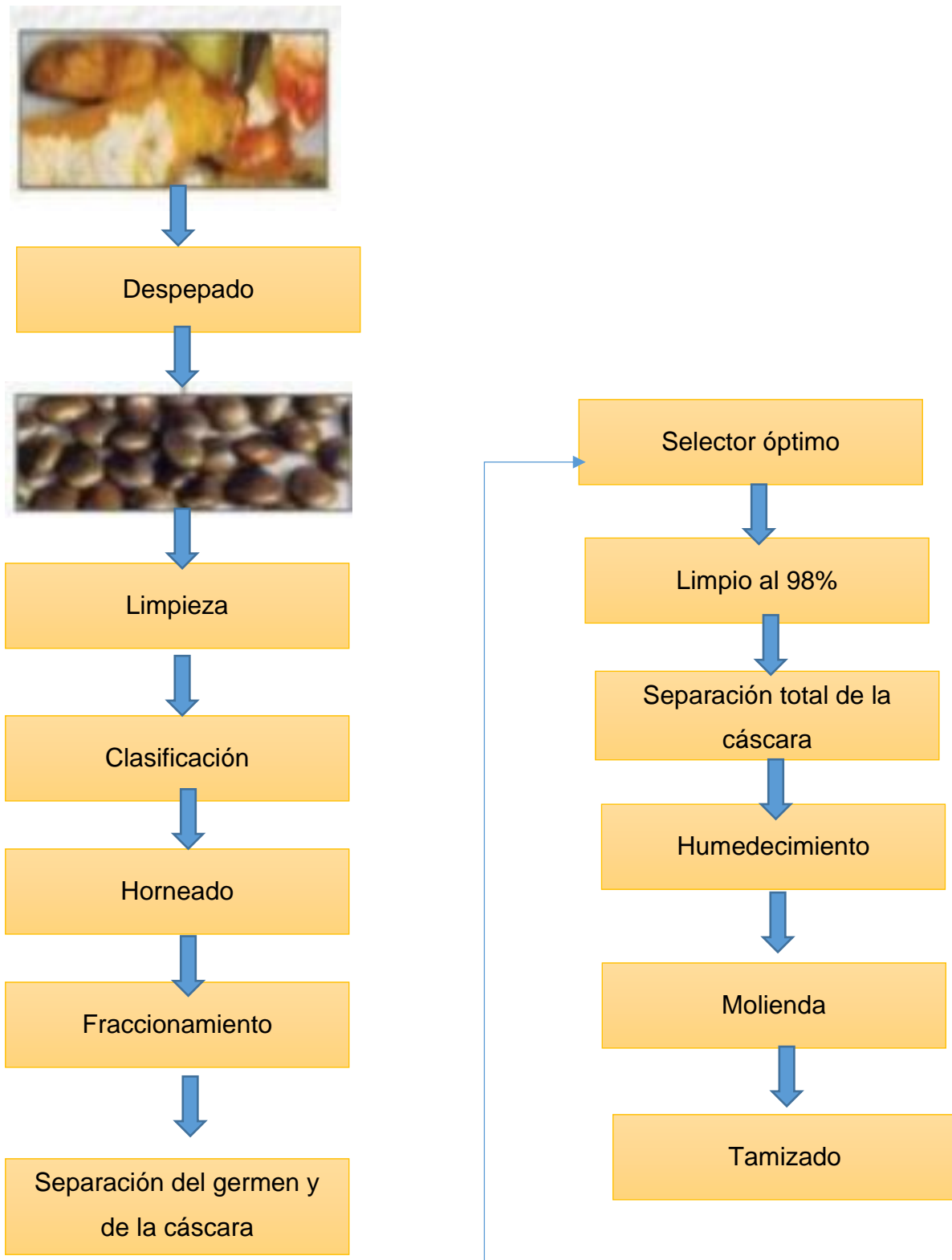


Figura 14. *Proceso de producción industrial de la goma de tara.*

### C) Sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ )

También conocido como alumbre, tiene buena eficiencia cuando se encuentra entre el intervalo de pH entre 6 y 8 produce flóculos pequeños los cuales se pueden remover fácilmente. No es muy efectivo para aguas con alta carga contaminante, es más utilizado para el tratamiento de agua potable.

A continuación, se detalla la estructura del sulfato de aluminio. (Boyd, 2014)

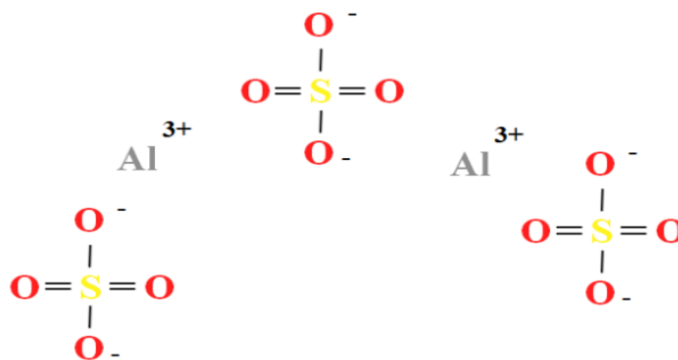


Figura 15. Estructura del sulfato de aluminio.

Este alumbre es una sal inorgánica, el cual en los últimos años ha tenido gran demanda, a fin de poder tratar aguas potables. Bolívar (s.f) indica que el exceso de esta sal provoca daños severos a los pulmones y al cerebro ya que es un metal, además, este polvo al estar en contacto directo con la piel provoca irritación y al ser digerido por medio de purificación de agua puede provocar diarreas, irritación al estómago y vómitos.

Como lo manifiesta Chulluncuy (2011), el sulfato de aluminio no se modifica químicamente en el tiempo. Sin embargo, este puede disminuir su eficiencia dependiendo de las características del agua cruda, por lo que va a requerir de un ayudante de coagulación, lo que implicaría aumentar el costo.

En el transcurso del tiempo, las sales metálicas, como el sulfato de aluminio han sido muy usadas para reducir la turbiedad de aguas residuales. Días, Gonzaga & Contreras (2007) manifiestan que estas sales son usadas como coagulantes y forman especies activas al ser adicionadas al agua. Luego, desestabilizan a las partículas por neutralización de cargas, donde las especies catiónicas con alta densidad de carga que se forman con la hidrólisis se adsorben a las partículas presentes en la muestra de agua.

Letterman et al. (1999) manifiestan que el mecanismo de coagulación se da por la neutralización de la carga superficial del coloide (turbiedad elevada) o por efecto de barrido (turbiedad baja), que funciona por la formación de hidróxidos de aluminio los cuales precipitan y arrastran los coloides formando flóculos al entrar en contacto con estas partículas.

Según Silicatos y Derivados S.A. de C.V. (SIDESA), como describe en la Tabla 7:

Tabla 7

*Especificaciones*

<b>SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO</b>		
Propiedades	Estándar	Libre Fe
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.8 mínimo	16.8 mínimo
Apariencia	Polvo crema	Polvo blanco
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.75 máximo	0.01 máximo
Insolubles %	1.0 máximo	1.0 máximo
Malla + 4 Tyler	0 máximo	0 máximo
Malla + 10 Tyler	10.0 máximo	10.0 máximo

### 2.2.2.7 Pruebas de jarras

Son ensayos en la cual se simulan los procesos de coagulación y floculación, a escala pequeña de laboratorio el cual permite obtener agua de buena calidad, promoviendo la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica. Como

afirman Cayotopa y Rodríguez (2011), estos procedimientos permitirán determinar las condiciones de operación óptima para el tratamiento de aguas, pues permite hacer ajustes de pH, dosis de coagulante y floculantes y además alternar velocidades de agitación (Figura 16). La dosis óptima se obtiene en el punto de inflexión, el cual es el punto más bajo de la curva (Figura 17).

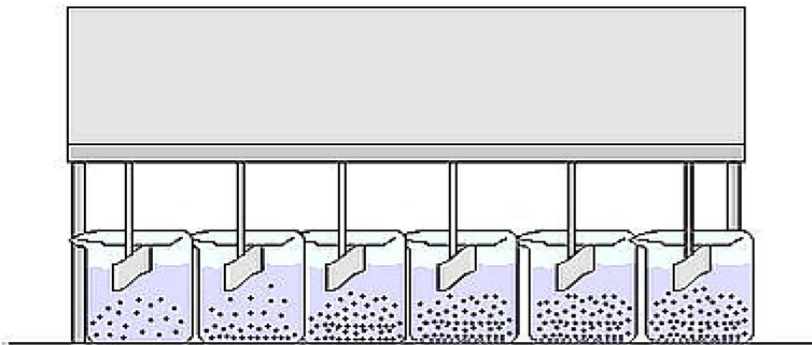


Figura 16. Modelo Test de Jarras.

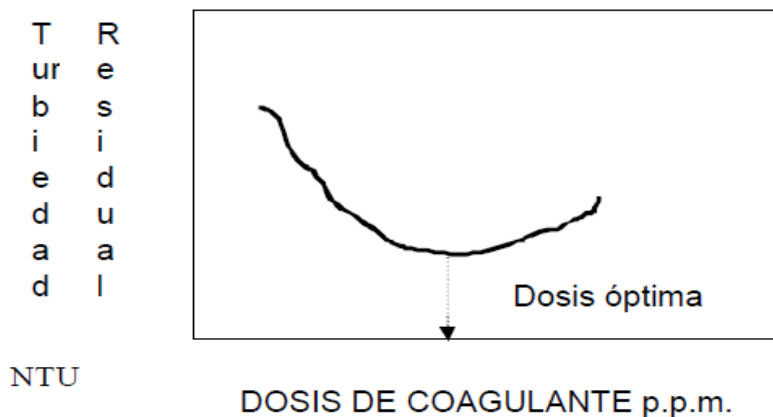


Figura 17. La dosis óptima.

En el transcurso de los años se han realizado diversidad de ensayos empleando la prueba de jarras, a fin de determinar las condiciones óptimas. Abramovich et al. (2009), manifiesta que esta prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación, los cuales tienen la finalidad de fomentar la eliminación de coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.



## 2.3 Marco legal

### Decreto supremo N°004-2017-MINAM-Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua

El ECA es la medida de nivel de concentración, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua en condición de receptor, el cual no representa riesgo significativo a la salud de las personas ni al ambiente. Tal y como se menciona en el diario oficial El Peruano (MINAM, 2017).

#### Categoría del ECA

#### Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales

- Agua para riego no restringido

Son aguas cuya calidad permite ser usadas en el riego de cultivos alimenticios que se consumen crudos, cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales o cualquier tipo de cultivo.

Tabla 8

*Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, D1: riego de vegetales - Agua para riego no restringido.*

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5-8,5
Temperatura	°C	Δ 3
Conductividad	μS/cm	2500

## Decreto supremo N°003-2010-MINAM-Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales para el sector vivienda

Cuyo fin es controlar excesos en niveles de concentración de sustancias, físicas, biológicas y químicas los cuales se encuentran presentes en efluentes o emisiones. Tal y como se menciona en el diario oficial El Peruano (MINAM, 2010).

Tabla 9

*Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.*

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	100
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5-8,5
Temperatura	°C	<35

### 2.4 Marco conceptual

**Aguas residuales:** Según Metcalf & Eddy (2003) son los líquidos los cuales han sido usados por las viviendas, comercio o industria.

**Coagulación:** Metcalf & Eddy (2003) indican que es la desestabilización de las partículas coloidales en la masa de agua.

**Coloide:** Arboleda (2000) menciona que estas son partículas de menor dimensión los cuales no logran sedimentarse, ante ello deben de someterse a una previa coagulación.

**Turbiedad:** Andia (2000) indica que es la reducción de transparencia del agua respecto a la materia coloidal suspendida.

**Test de jarras:** Andia (2000) menciona que es una prueba a nivel de laboratorio con distintas dosis, velocidad, tiempo de agitación en el cual se simula los procesos que se dan en una planta.

**DBO<sub>5</sub>:** Romero (2010) sostiene que es la cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias los cuales realizan la oxidación de materia orgánica biodegradable.

**ppm:** Orozco (2011) Es una unidad de peso de soluto por peso de solución. En análisis de agua un ppm es equivalente a mg/l.

**pH:** Orozco (2011) indica que este parámetro determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, además, tiene relación con los procesos químicos y biológicos.

**Sedimentación:** Arboleda (2000) menciona que es el asentamiento de partículas sólidas en un sistema líquido debido a la gravedad.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

#### 3.1 Lugar de ubicación

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos peligrosos (CITRAR), el cual se localiza entre las coordenadas UTM 276702.12 E y 8671397.26 N. Además, se realizó los análisis en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA) de la Universidad Nacional de Ingeniería el cual se localiza entre las coordenadas UTM 276969.01 E y 8670114.2 N (Figura 18). Los cuales se encuentran ubicados en el distrito de Independencia y Provincia de Lima. Cabe indicar que, el trabajo se ejecutó en el año 2019.

#### 3.2 Determinación y análisis del problema

El emplear coagulantes de origen químico para tratar aguas residuales ha generado en el transcurso del tiempo, problemas a la salud como por ejemplo el Alzheimer. Asimismo, estos coagulantes generan la producción de lodos que al ser descargados en cuerpos de agua ocasionan aspectos ambientalmente significativos; este efecto es uno de los aspectos más críticos en la operación de plantas de tratamiento.

Ante lo mencionado, en este trabajo de investigación se ha optado por evaluar la eficiencia de remoción de turbidez, conductividad, pH, temperatura de O<sub>2</sub> coagulantes naturales (*Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa*) frente a un coagulante químico (sulfato de aluminio) en muestras de agua residual del efluente UASB del Tanque Séptico del CITRAR - UNI.

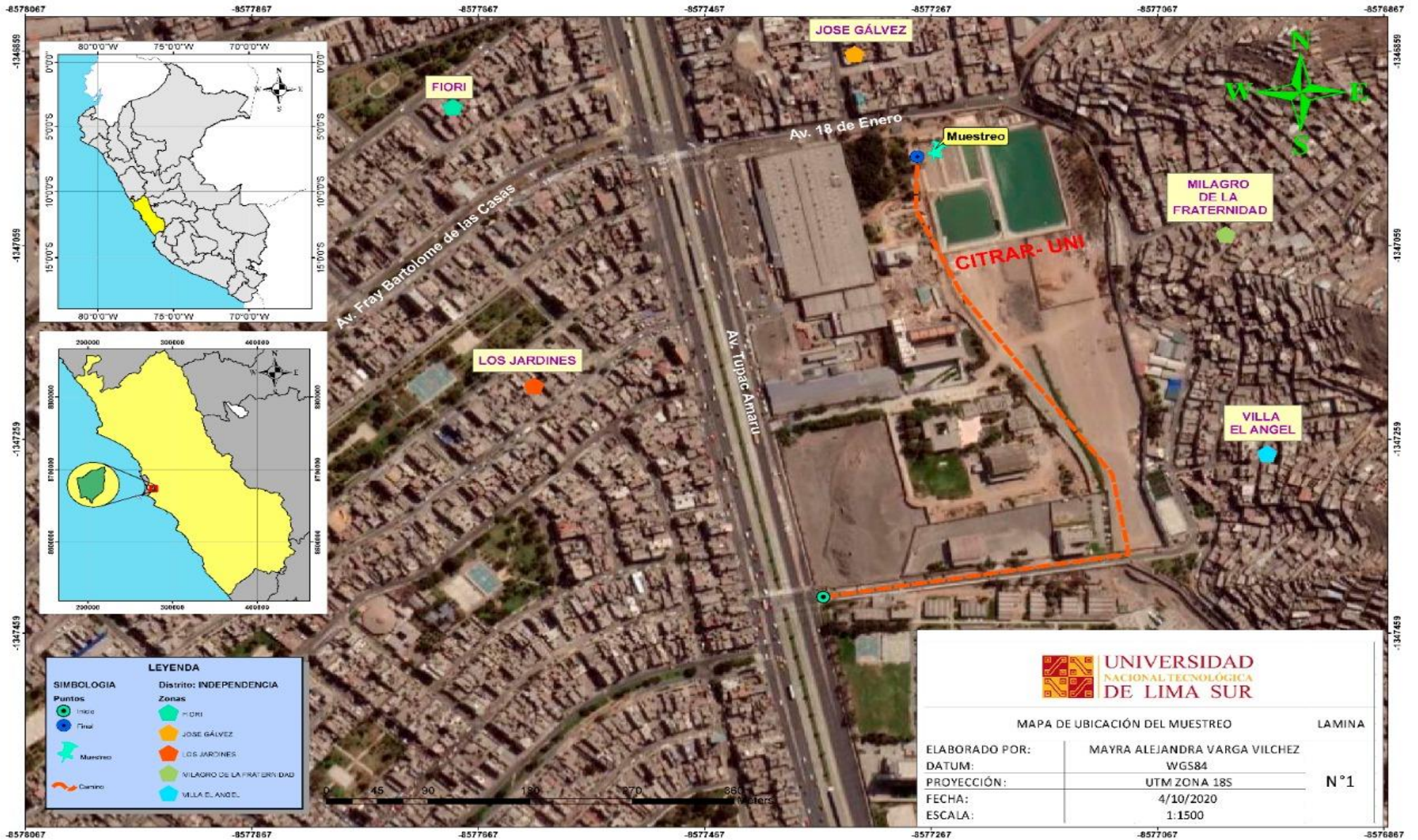


Figura 18. Mapa de ubicación del muestreo del CITRAR - UNI.

### 3.3 Materiales y equipos

Los equipos y materiales que se usaron fueron:

#### **Equipos**

- Equipo de prueba de jarras
- Agitador múltiple (6 unid)
- Turbidímetro – Marca HACH (1 unid)
- pHmetro – Marca HACH (1 unid)
- Mufla
- Balanza analítica
- Licuadora
- Conductímetro (1 unid)
- Cronómetro (1 unid)
- Termómetro - Marca HACH (1 unid)
- Oxímetro – Marca HACH (1 unid)

#### **Materiales**

- Gradillas
- Vasos de precipitado de 1000 ml (6 unid)
- Pipetas (18 unid)
- Cuchillo
- Esponja – limpieza (1 unid)
- Tamiz diámetro 1 mm (6 unid)
- Mortero de porcelana (6 unid)
- Guantes (3 pares)
- Piseta (1 unid)
- Frascos debidamente etiquetados
- Guardapolvo

### **Insumos**

- Agua destilada (150 ml para cada corrida)
- Agua potable
- Solución de tampón
- Solución de Sulfato de magnesio
- Solución de Cloruro de calcio
- Solución de Cloruro férrico

### **Material biológico**

- Tuna *Opuntia ficus-indica*
- Tara *Caesalpinia spinosa*
- Sulfato de aluminio
- Muestra de agua del tanque séptico del CITRAR-UNI (18 litros para cada corrida)

### **Software**

- Google earth
- Hojas de cálculo (Excel)
- Arc Gis

## **3.4 Metodología y procedimiento**

### **Metodología de la investigación**

En el presente trabajo se empleó el método científico, de tipo experimental ya que se evaluó la dosis óptima de los 3 tipos de coagulantes en los parámetros físicos-químicos de la calidad del agua del efluente UASB del Tanque séptico.

### **Diseño de investigación – nivel de investigación**

Este trabajo es una investigación experimental de alcance aplicativo.

## **Variables**

Variables dependientes (X):

- Remoción de turbidez (%),
- $DBO_5$ ,
- Índice de Wilcomb,
- pH,
- Conductividad eléctrica,
- Temperatura.

Variables independientes (Y):

- Dosis del coagulante,
- velocidad de agitación.

### **3.4.1 Muestreo de agua**

Se realizó la toma de muestra del efluente de un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) tipo Tanque Séptico (Figura 19). El cual operó con un caudal aproximado de 3600 l/día. Este muestreo se realizó según el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales – PTAR / Resolución Ministerial N° 273-2013- Vivienda. Esta toma de muestra se llevó a cabo de lunes a viernes en los horarios de 8:30 am y 1:30pm. Cabe indicar que, estos frascos se encontraban debidamente rotuladas (número de muestra, código de identificación, origen de la fuente, fecha y hora de muestreo, tipo de análisis requerido, nombre del responsable del muestreo). Además, al terminar el muestreo de agua, estos frascos se colocaron en un cooler el cual contenía refrigerante (ice pack) ello con la finalidad de preservar sus propiedades. Se registró como datos iniciales en el turno de la mañana la temperatura promedio 28.98°C, turbiedad promedio 92.17 UNT, conductividad promedio 956.1  $\mu$ S/cm y



en el turno de la tarde temperatura promedio 28.17°C, turbiedad promedio 57.08 UNT, conductividad promedio 928.16  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Figura 19. *Recolección de muestras de agua del efluente UASB Tanque Séptico del CITRAR – UNI.*

#### **3.4.2 Polvo del cladodio de la tuna**

Para extraer el polvo de la tuna, se realizó según flujograma (Figura 20) y la metodología de Almendárez (2004):

- Se recolectó 6 pencas, los cuales fueron sometidas a un lavado con agua a chorro continuo, tal y como muestra la Figura 21.
- Luego, se retiraron las espinas y se realizó otro lavado con agua a chorro continuo.
- Se procedió a pelar la penca para poder retirar la parte exterior (cutícula).
- Después, la pulpa libre de cáscara, se cortó en pequeñas tiras, las cuales, fueron sometidas a un proceso de secado durante 48 horas continuas a una temperatura de 60+/- 1°C, tal y como muestra la Figura 23.

- Entonces, debido a la deshidratación a la que se sometieron, las tiras redujeron su tamaño de manera considerable y estaban frágiles y quebradizas.
- Se procedió a utilizar un mortero manual para triturarlas con el objetivo de reducir el tamaño de partícula del material; teniendo como producto un polvo de color amarillo, tal y como muestra la Figura 24.
- Después, se procedió a tamizar el polvo durante 5 minutos empleando tamices Tyler, a fin de garantizar que las partículas tengan un diámetro inferior a 0.5 mm con la finalidad de favorecer la extracción de pigmentos.
- Por último, el polvo se almacenó en un desecador a temperatura ambiente (alrededor de 30°C), a fin de poder conservar sus propiedades y ser utilizado en pruebas posteriores.

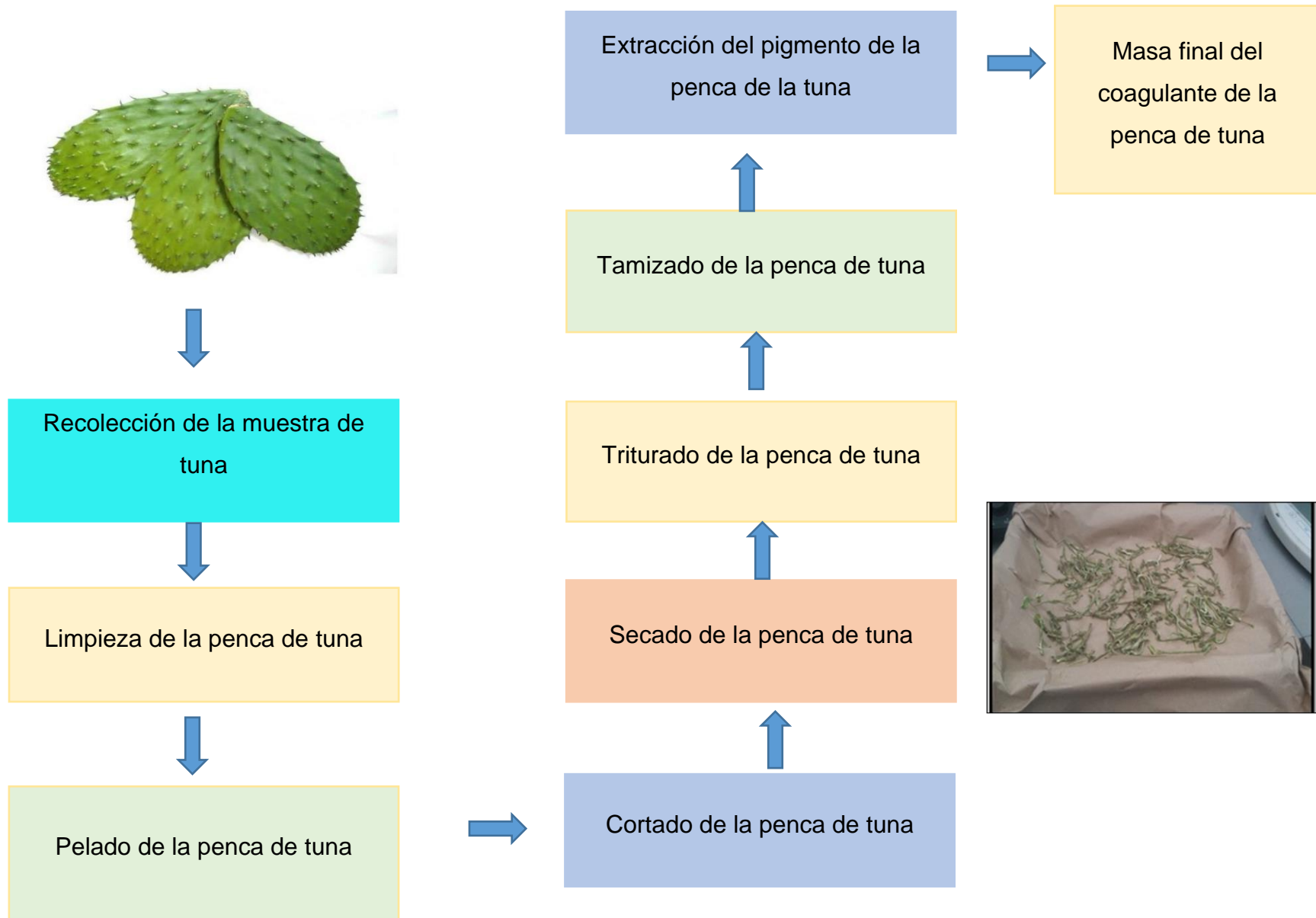


Figura 20. Procedimiento de obtención de coagulante de penca de tuna. Fuente: Propia



Figura 21. Limpieza de la penca de la Tuna.



Figura 22. Corte en tiras de la penca de la Tuna.



Figura 23. Después de haber pasado por el proceso de secado durante 48 horas continuas.



Figura 24. Trituración de las tiras de la penca de Tuna, después de haber ido al horno.

### 3.4.3 Goma de la tara

Para la obtención de la goma de la tara se realizaron los siguientes pasos:

- Se recolectaron 2 kilos de tara, luego se procedió a separar las semillas de las vainas, tal y como muestra la Figura 25.
- A fin de poder extraer la goma, se empleó el proceso térmico–mecánico, en seco.
- Luego, se pesó las semillas, tal y como muestra la Figura 26. Por consiguiente, se colocó en un recipiente resistente al calor y se expuso a 170°C por 10 minutos con agitación de 5 segundos cada 2 minutos.
- Se procedió a realizar la molienda en molino de cuchillas a máxima velocidad ello se dio haciendo uso de la licuadora.
- Las semillas se dilataron con el calor y al exponerlos a un choque mecánico se partieron fácilmente dejando libre los componentes de la semilla: cáscara, goma en hojuela y embrión.
- Con ayuda del colador se separó la goma y se almacenó en bolsas de polipropileno debidamente rotuladas, a temperatura ambiente y protegidos de la luz, tal y como muestra la Figura 27.



Figura 25. Separación de manera manual de las semillas de la tara.



Figura 26. El pesado de las semillas de tara.



Figura 27. Conservación en el desecador de los coagulantes obtenidos en polvo.

#### 3.4.4 Determinación de la dosis óptima de los coagulantes

- Se tuvo dosis de concentraciones (mg/L) de 40, 70, 90, 110, 130, 150 para el tratamiento con los coagulantes naturales: *Opuntia ficus-indica*, *Caesalpinia spinosa* y para el coagulante convencional Sulfato de aluminio, ellos debidamente rotuladas tal y como muestra la Figura 28.
- Luego se sometió a agitación rápida 120 revoluciones por minuto (rpm) por 1 min para que se lleve a cabo la coagulación. Por consiguiente, se realizó la agitación lenta de 30 rpm por 20 min para que se dé la floculación, tal y como muestra la Figura 30.
- Durante el test de jarras se tuvo en cuenta mediante simple observación se evidenció la formación del floc y el índice de Willcomb, el cual permite evaluar de forma cualitativa la formación del floc.
- Luego se extrajo las paletas cuidadosamente para no disturbar el agua, dejando los vasos en reposo por 15 min. Todos los experimentos se realizarán por duplicado de manera diaria en el mes de febrero.
- La variable respuesta analizada fue la turbidez, para ello se utilizó una pipeta para extraer agua tratada para cada vaso, se extrajo de 100 ml de la muestra, cuidando de efectuar esta operación a la misma velocidad de succión y a la misma profundidad desde la superficie del líquido (5 cm).
- Luego se procedió a evaluar el pH, temperatura, conductividad y turbiedad de cada muestra tratada con la finalidad de elegir la dosis óptima de acuerdo a las eficiencias obtenidas (Figura 31).





Figura 28. Botellas rotuladas del 1 al 6, los cuales representan las dosis (40, 70, 90, 110, 130, 150 mg/L respectivamente).



Figura 29. Pesado de las muestras en la balanza analítica



Figura 30. Velocidad mínima, rápida y sedimentación en la prueba de jarras.

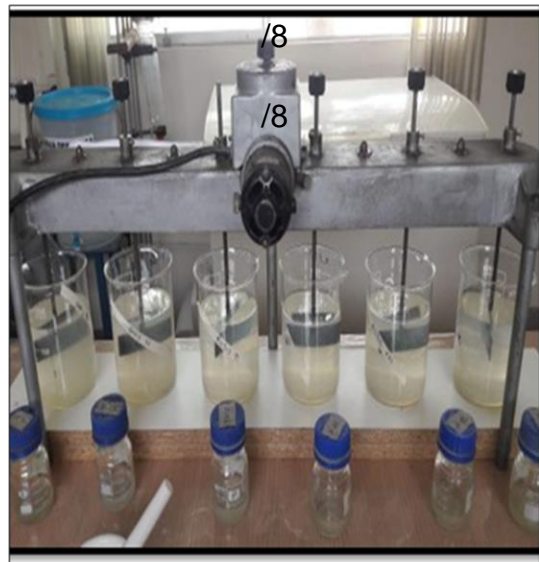


Figura 31. Prueba de jarras a diferentes dosis con distintos coagulantes.



### 3.4.5 Prueba de jarras

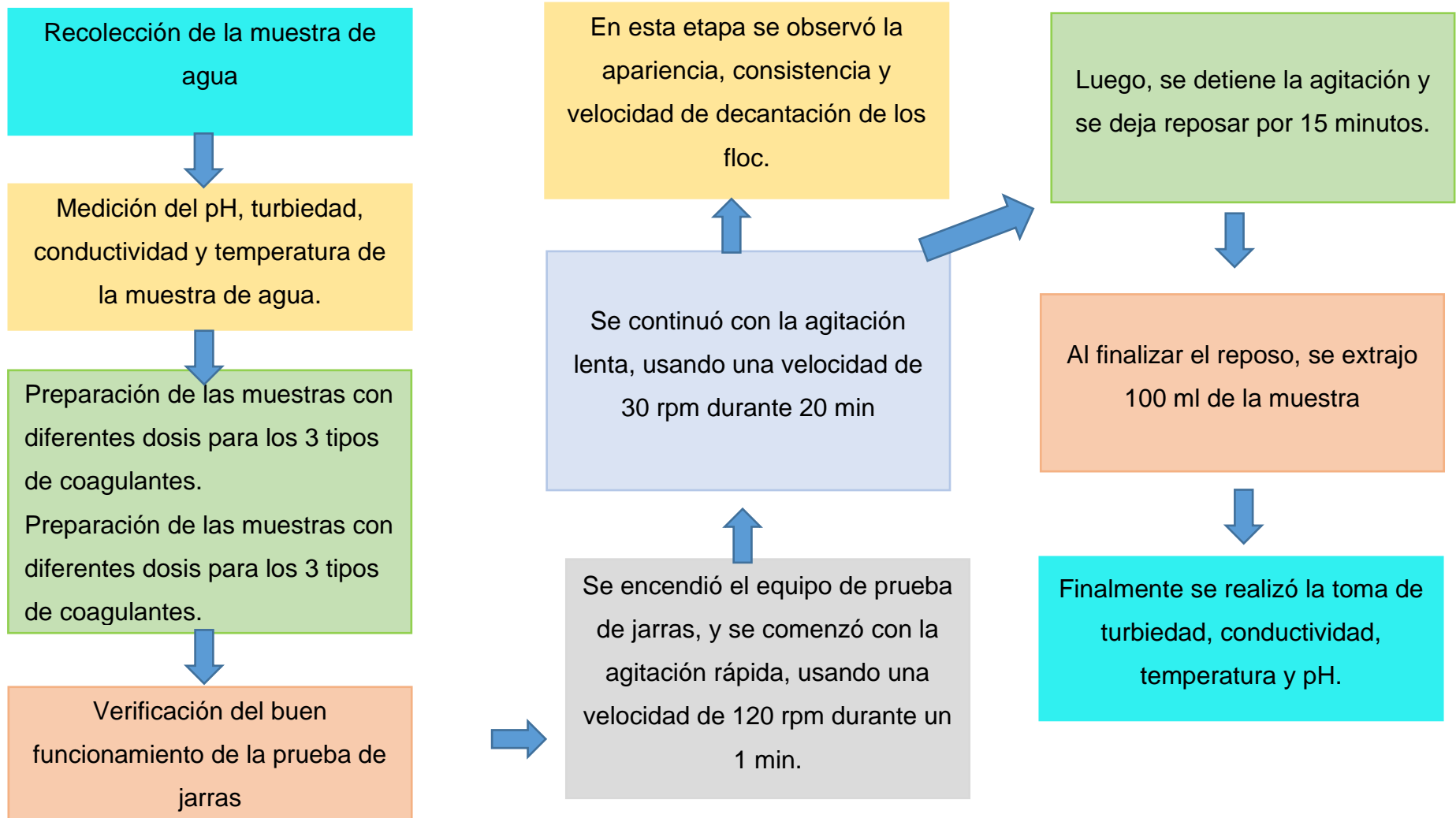


Figura 32. Pasos a seguir para la prueba de jarras.

En el ensayo de pruebas, tras sacar muestras del efluente UASB Tanque Séptico y al obtener mayor turbiedad por las mañanas en un rango de 60-150 UNT y por las tardes una menor turbiedad en un rango de 40-60 UNT, se optó por separarlas en monitoreos de la mañana y de la tarde para poder realizar sus gráficas y poder observar cómo varía de acuerdo a cada coagulante.

### **Estandarización de la conductividad**

Para verificar el estado del conductímetro, se deben hacer mediciones de la conductividad de las soluciones estándar 1 y 2 y en su caso calibrar la lectura, a fin de obtener los valores especificados. Hach Company (2010)

- Solución estándar de KCl (1): 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la calibración del equipo.
- Solución estándar de KCl (2): 146.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

<b>Standard type</b>	<b>Description</b>
KCl_1D	1D KCl, 111.3 mS/cm – 25 °C
KCl_0_1D	0.1D KCl, 12.85 mS/cm – 25 °C
KCl_0_01D	0.01D KCl, 1408 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 25 °C
KCl_0_1M	0.1M KCl, 12.88 mS/cm – 25 °C
KCl_0_01M	0.01M KCl, 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 25 °C
KCl_0_001M	0.001M KCl, 146.93 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 25 °C
NaCl_18mSPerCm	NaCl, 18 mS/cm – 25 °C
NaCl_1000uSPerCm	NaCl, 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 25 °C
NaCl_0_05Percent	NaCl, 0.05%, 1015 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 25 °C
NaCl_25uSPerCm	NaCl, 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 25 °C

Figura 33. *Estandarización de la conductividad.*

### **Procedimiento de calibración del electrodo**

Según lo mencionado en Hach Company (2010):

- Se calibró el electródo con el estándar KCl 0.01M el cual se observa en la figura 33.
- Se calibró a 25 ° C.
- Se eligió un estándar con un valor de conductividad tan cercano a la conductividad de la muestra que se analizó.
- La calibración del sensor debe ser al menos cada 6 meses.

- En el proceso de calibración, la medición se muestra sin compensación de temperatura. Cuando la estabilidad es alcanzada, la compensación de temperatura del estándar se aplica a la temperatura de medición para comparar ambos resultados y determinar la constante celular.

Name	Default parameters	Unit
<b>Application</b>		
Name	Water Conductivity	
<b>Electrode</b>		
Type	Conductivity	
Recommended electrode	CDC401	
Calibration frequency	180	[Days]
Stirring speed	20	[%]
Calibration mode	Fixed	
Standard	0.01M KCl	
Min. cell constant	0.3	[cm-1]
Max. cell constant	0.5	[cm-1]
Temp. compensation	Natural water 25 °C	

Figura 34. Configuración de calibración de electrodos.

### 3.4.5 Determinación de dosis óptima para hallar $DBO_5$ de los coagulantes

- Se realizó diariamente el monitoreo del pH, temperatura (°C), turbiedad, conductividad en 2 turnos a las 10 am y a las 2 pm.
- Además, se tuvo 4 semanas de ensayo con la finalidad de hallar la dosis óptima, estos monitoreos fueron realizados en el laboratorio del Centro de Investigación de Aguas Residuales y Residuos peligrosos (CITRAR) de lunes a viernes en 2 turnos (10 am y a las 2 pm). Se realizó el monitoreo de turbiedad inicial y final, pH inicial y final, temperatura inicial y final, índice de Wilcomb, conductividad inicial y final.  
Luego de tener la dosis óptima, se trabajarán con éstas y se realizará el monitoreo no rutinario el cual es la DBO.

En el caso de la DBO, se llevó a cabo en 3 semanas, ya que se tiene que buscar las diluciones óptimas para estos tipos de coagulantes (Figura 35, 36, 37, 38, 39 y 40).



Figura 35. Rotulación de frascos Winkler.



Figura 36. Medición de OD del blanco después de los 5 días.



Figura 37. Medición de OD del coagulante convencional Sulfato de Aluminio.



Figura 38. Preparación del agua con nutrientes y su posterior inoculación de la muestra en los frascos Winkler.



Figura 39. *Medición de OD del coagulante natural Opuntia ficus-indica.*



Figura 40. *Frascos Winkler después de haber salido de incubación por 5 días.*

### 3.4.7 Tratamientos en estudio

Se evaluaron tres coagulantes como *Caesalpinia spinosa*, *Opuntia ficus-indica* y Sulfato de aluminio en dosis distintas 40, 70, 90, 110, 130 y 150 mg/L y en dos turnos diferentes (Figura 41).

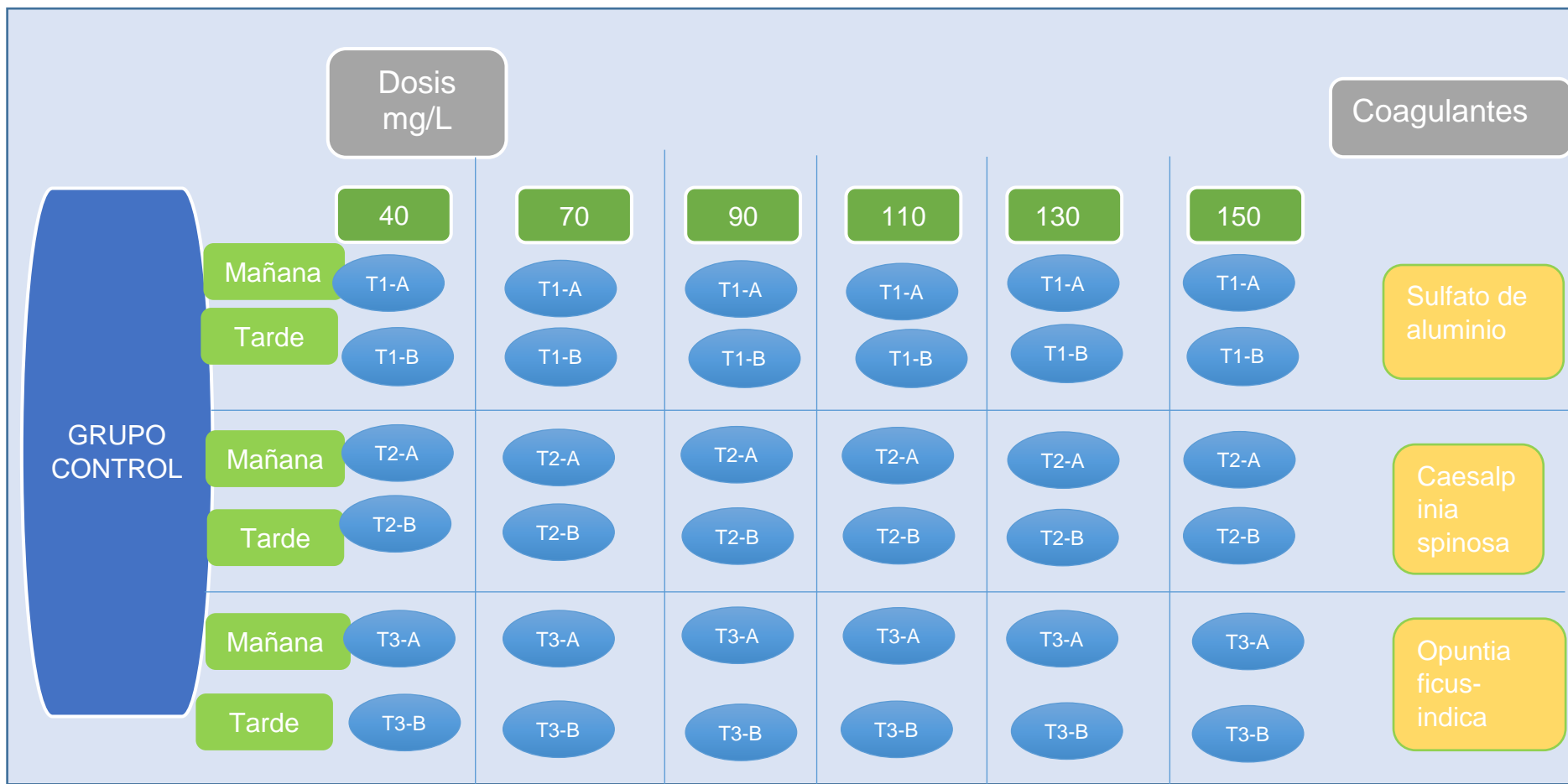


Figura 41. Diseño experimental

### 3.4.8 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron ingresados en el programa Microsoft Excel y al SPSS, a fin de determinar las dosis óptimas y el porcentaje de remoción de turbiedad, pH final, temperatura final, conductividad eléctrica final, índice de Willcomb para cada coagulante.

### 3.4.9 Evaluación de los parámetros

Se evaluaron los siguientes parámetros:

- **pH:** Se midió empleando el equipo del pH metro marca HACH, estas mediciones fueron llevados a cabo de lunes a viernes en 02 turnos (10 am y 2pm).
  
- **Conductividad:** Se midió empleando el equipo del multiparámetro marca HACH, estas mediciones fueron llevados a cabo de lunes a viernes en 02 turnos (10 am y 2 pm).
  
- **Temperatura:** Se midió empleando el equipo del multiparámetro metro marca HACH, estas mediciones fueron llevados a cabo de lunes a viernes en 02 turnos (10 am y 2 pm).
  
- **Turbiedad:** Se midió empleando el equipo turbidímetro marca HACH, estas mediciones fueron llevados a cabo de lunes a viernes en 02 turnos (10 am y 2pm).
  
- **Medición de flóculos:** Se midió con la ayuda del Índice de Wilcomb, estas mediciones fueron llevados a cabo de lunes a viernes en los 02 turnos después de hacer uso de la prueba de jarras.

Luego de obtener la dosis óptima, se trabajó con éstas y se realizó el monitoreo no rutinario el cual es la  $DBO_5$ .

Los monitoreos no rutinarios:

**$DBO_5$**  : Se llevó a cabo la medición del OD (oxígeno disuelto) en 03 semanas, ya que se tiene que buscar las diluciones óptimas para los 03 tipos de coagulantes.

### 3.5 Resultados

- **Determinación de las dosis óptimas diarias empleando *Opuntia ficus indica***

En la Figura 42 se observa que en el turno de la mañana al emplear el coagulante natural *Opuntia ficus-indica*, se tuvo como turbiedad mínima 26 NTU al aplicar la dosis de 40mg/L. Además, se observa que las dosis óptimas evaluadas de manera diaria se encuentran en el rango de 40,70 y 150 (Figura 42), siendo constante en los 8 últimos días la dosis de 40mg/L.

Asimismo, en la Figura 43 se observa que en el turno de la tarde al emplear el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* se obtiene una turbiedad mínima de 24.3 NTU siendo la dosis óptima de este coagulante de 40mg/L, teniendo como turbiedad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 50.6 NTU.

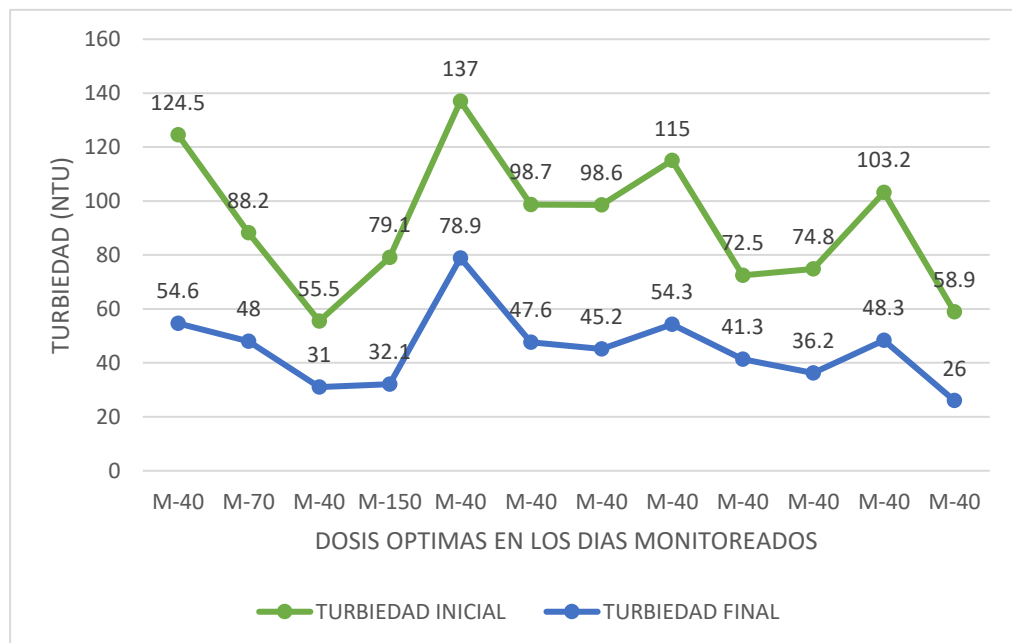


Figura 42. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando *Opuntia ficus – indica*.



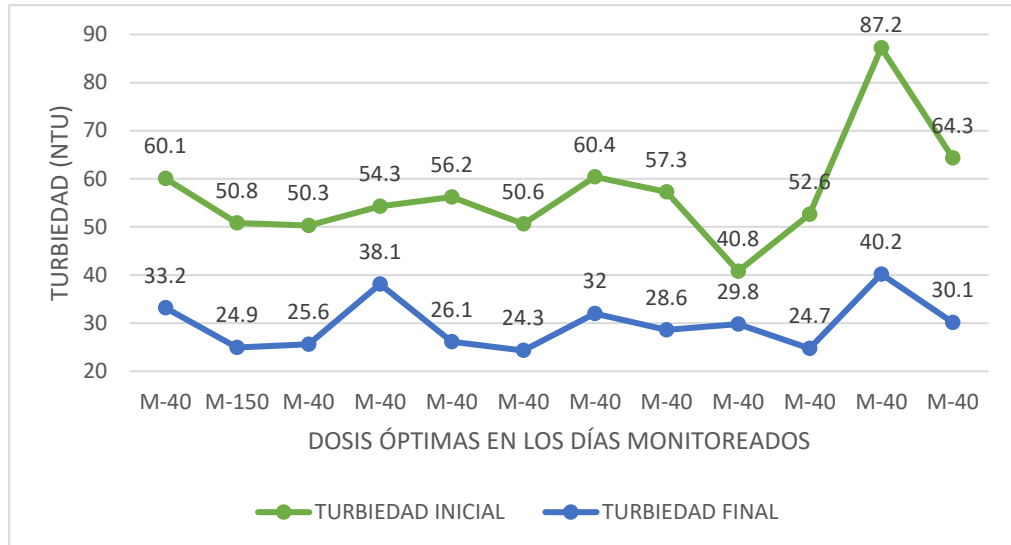


Figura 43. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando *Opuntia ficus – indica*.

- **Determinación de las dosis óptimas diarias empleando *Caesalpinia spinosa***

En la Figura 44 se observa que en el turno de la mañana que al emplear el coagulante natural *Caesalpinia spinosa* se obtiene una turbiedad mínima de 32 NTU siendo la dosis óptima de este coagulante de 40mg/L, teniendo como turbiedad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 55.5 NTU.

Asimismo, en la Figura 45 se observa que en el turno de la tarde al emplear el coagulante natural *Caesalpinia spinosa* se obtiene una turbiedad mínima de 25.4 NTU siendo la dosis óptima de este coagulante de 40mg/L, teniendo como turbiedad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 40.8 NTU.

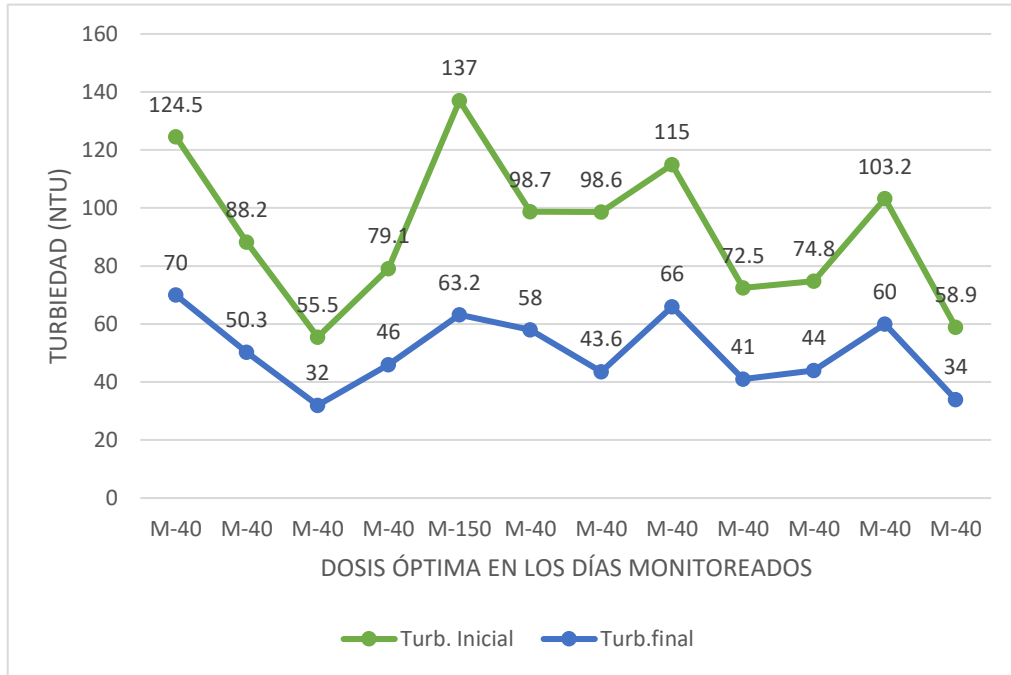


Figura 44. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando *Caesalpinia spinosa* (tara).

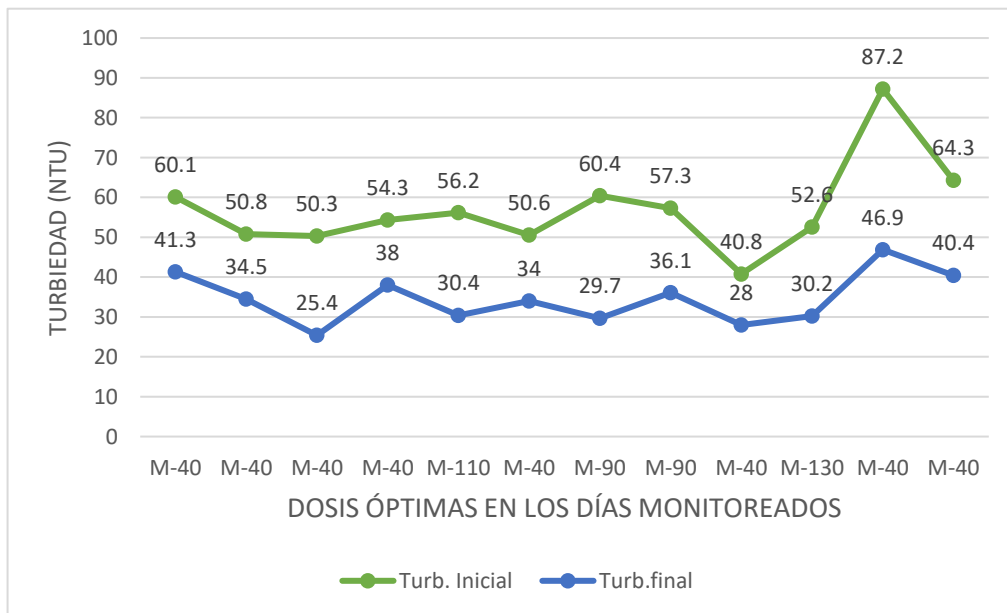


Figura 45. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando *Caesalpinia spinosa* (tara).

- **Determinación de las dosis óptimas diarias empleando sulfato de aluminio**

En la Figura 46 se observa que en el turno de la mañana al emplear el coagulante convencional Sulfato de Aluminio se obtiene una turbiedad mínima de 8.67 NTU siendo la dosis óptima de este coagulante de 70mg/L, teniendo como turbiedad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 103.2 NTU.

Asimismo, en la Figura 47 se observa que en el turno de la tarde al emplear el coagulante convencional Sulfato de Aluminio se obtiene una turbiedad mínima de 9.3 NTU siendo la dosis óptima de este coagulante de 70mg/L, teniendo como turbiedad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 50.8 NTU.

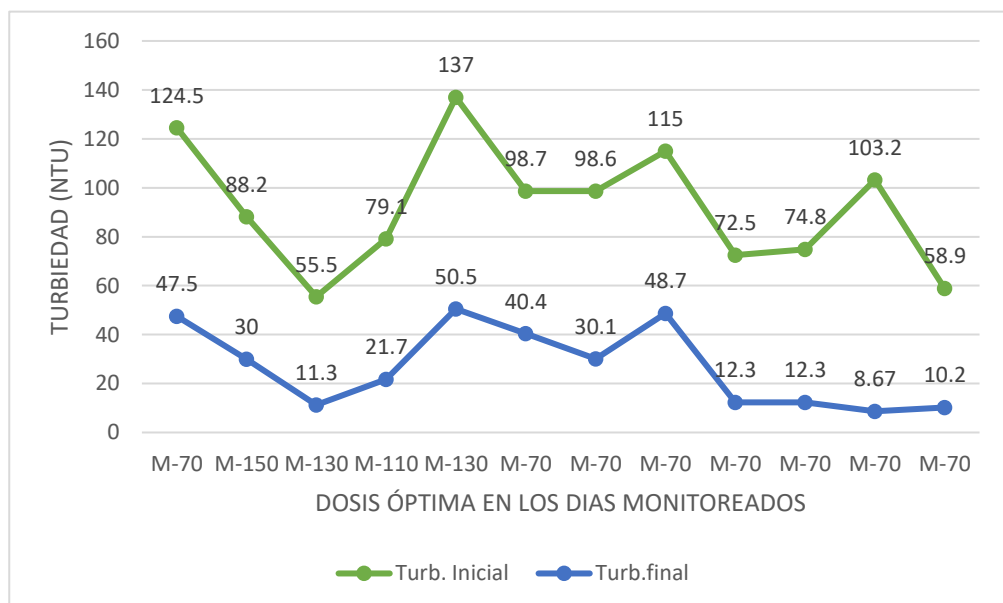


Figura 46. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando sulfato de aluminio.

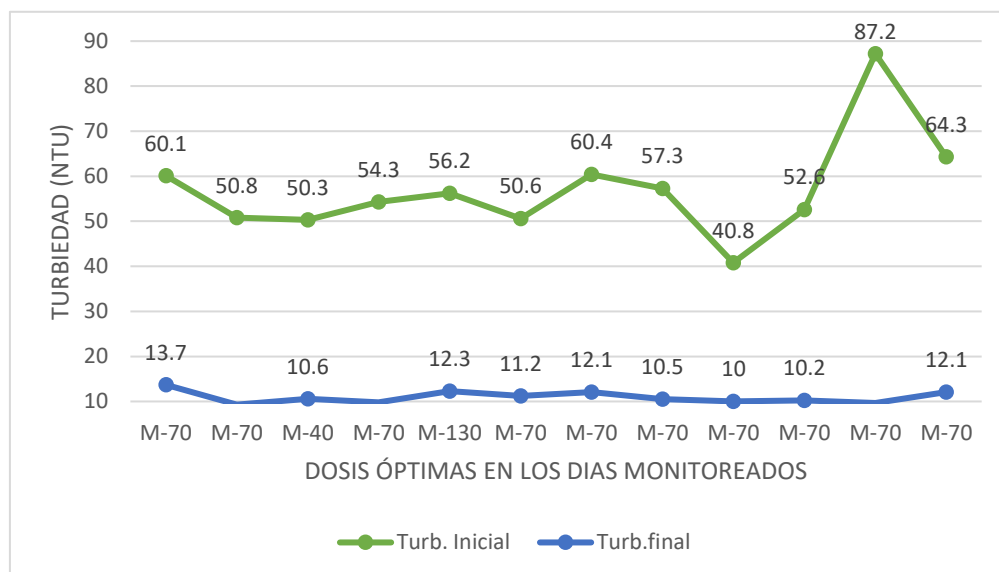


Figura 47. Variación de turbiedad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando sulfato de aluminio.

- **Determinación del promedio de turbiedad final para cada dosis**

En la Figura 48 se observa que con una dosis de *Opuntia ficus-indica* de 40 mg/L se obtiene la menor reducción de turbiedad de 41.61 NTU, a comparación que con una dosis de 90 mg/L siendo la de mayor promedio de turbiedad con 50.74 NTU. Estos resultados concuerdan con lo que menciona Martínez y Gonzáles (2012) quienes indican que a mayor dosis no se logra una mejor remoción de turbidez, puesto que el sobrante satura las superficies coloidales impidiendo la formación de puentes interparticulares.

Asimismo, en la Figura 49 se observa que con una dosis de *Caesalpinia spinosa* de 40 mg/L se obtiene la menor reducción de turbiedad de 44.45 NTU, a comparación que con una dosis de 90mg/L siendo la de mayor promedio de turbiedad con 53.5 NTU.

Además, en la Figura 50 se observó que con una dosis de sulfato de aluminio de 70 mg/L se obtiene la menor reducción de turbiedad de 21.97

NTU, a comparación que con una dosis de 90mg/L siendo la de mayor promedio de turbiedad con 32.15 NTU.

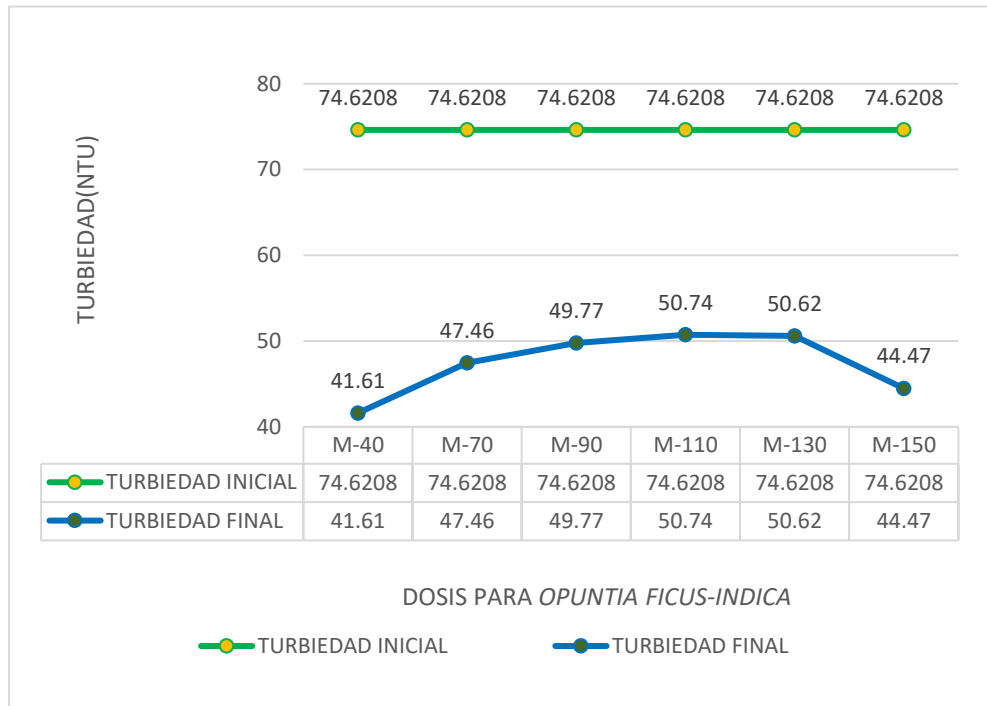


Figura 48. Promedio de turbiedad final para cada dosis empleando *Opuntia ficus-indica*.

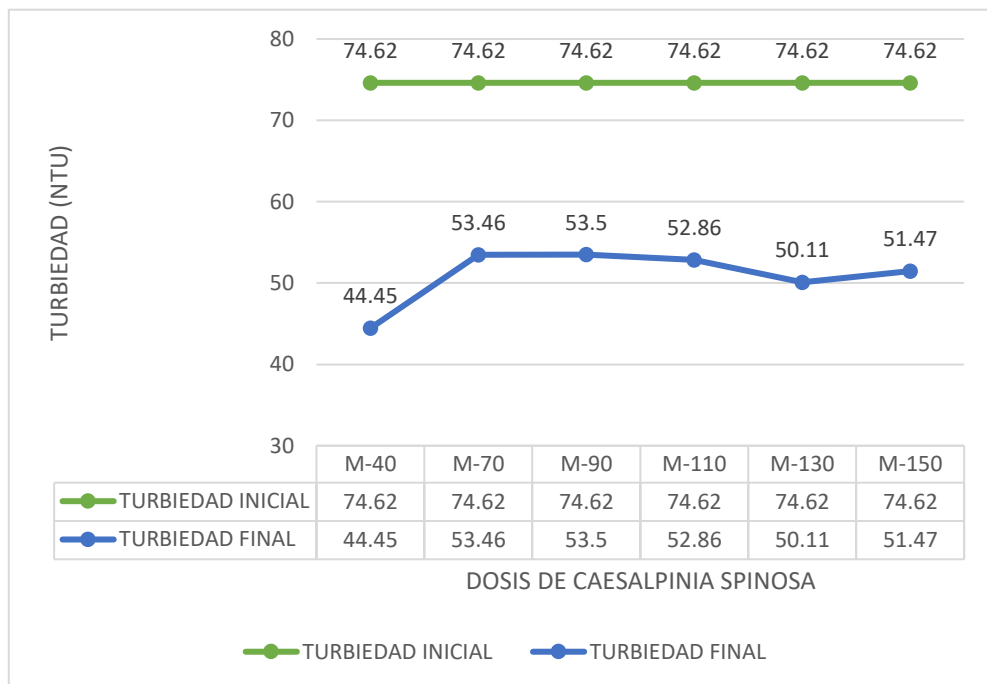


Figura 37. Promedio de turbiedad final para cada dosis empleando *Caesalpinia spinosa*.

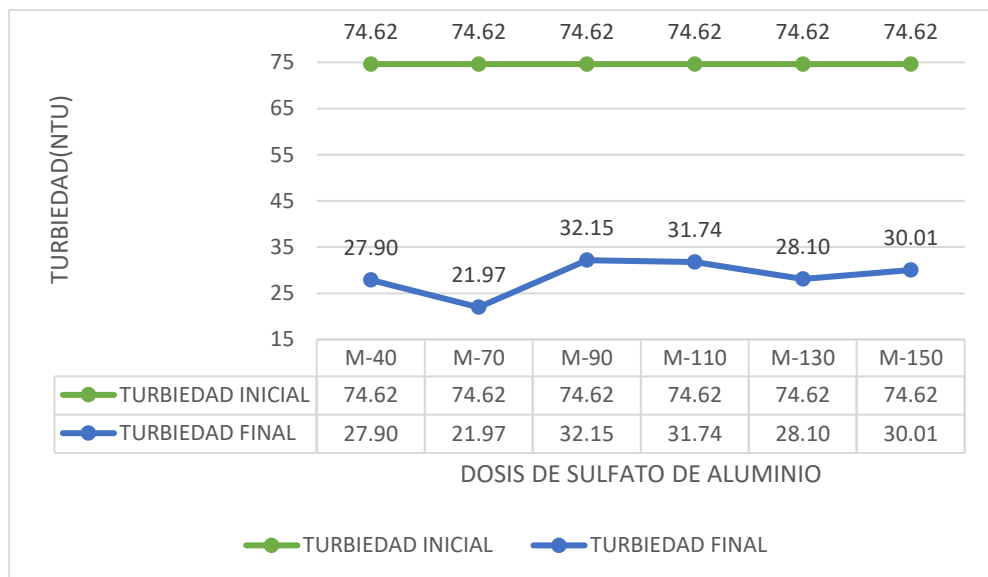


Figura 50. Promedio de turbiedad final para cada dosis empleando Sulfato de aluminio.

- **Variación de turbiedad de los 3 tipos de coagulantes**

En la Figura 51 se observa que por la mañana al emplear el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* (tuna), el valor mínimo de turbiedad es de 26 NTU y el valor máximo de turbiedad es de 78.9 NTU. Al emplear el coagulante natural *Caesalpinia spinosa* (tara), el valor mínimo de turbiedad es de 32 NTU y el valor máximo de turbiedad es de 70 NTU. Luego, al emplear el coagulante convencional Sulfato de Aluminio, el valor mínimo de turbiedad es de 8.67 NTU y el valor máximo de turbiedad es de 50.5 NTU.

Asimismo, en la Figura 52 se observa que en la tarde ante una turbiedad inicial del efluente UASB tanque séptico, el más eficiente es el coagulante Convencional Sulfato de Aluminio teniendo como turbiedad mínima 9.3 NTU, el coagulante que le sigue es *Opuntia ficus-indica* teniendo como turbiedad mínima 24.3 NTU, luego el coagulante que sigue es *Caesalpinia spinosa* la cual también logra disminuir la turbiedad teniendo como turbiedad mínima 25.4 NTU.

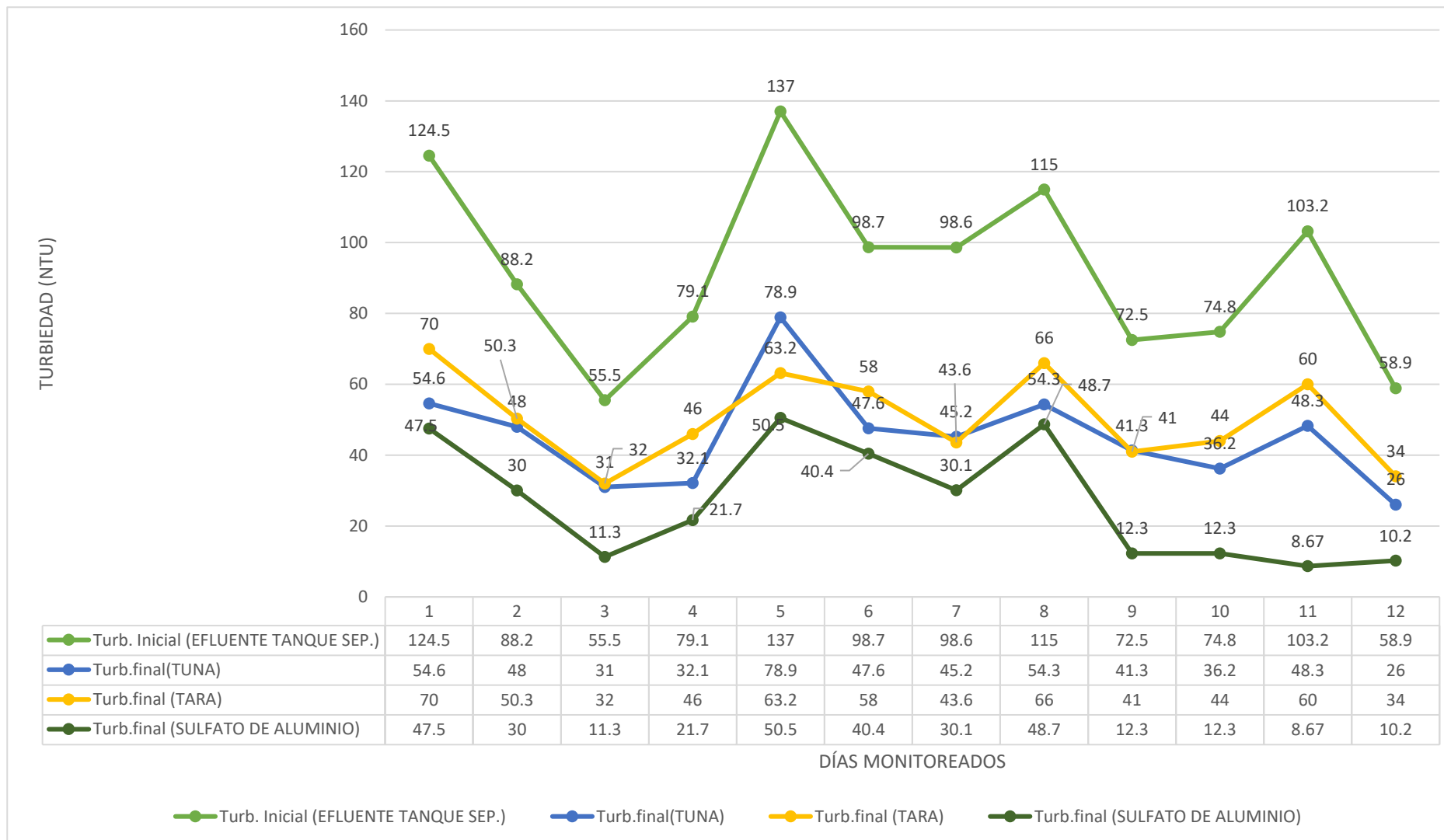


Figura 38. Variación de turbiedad en la mañana vs los 3 tipos de coagulantes.

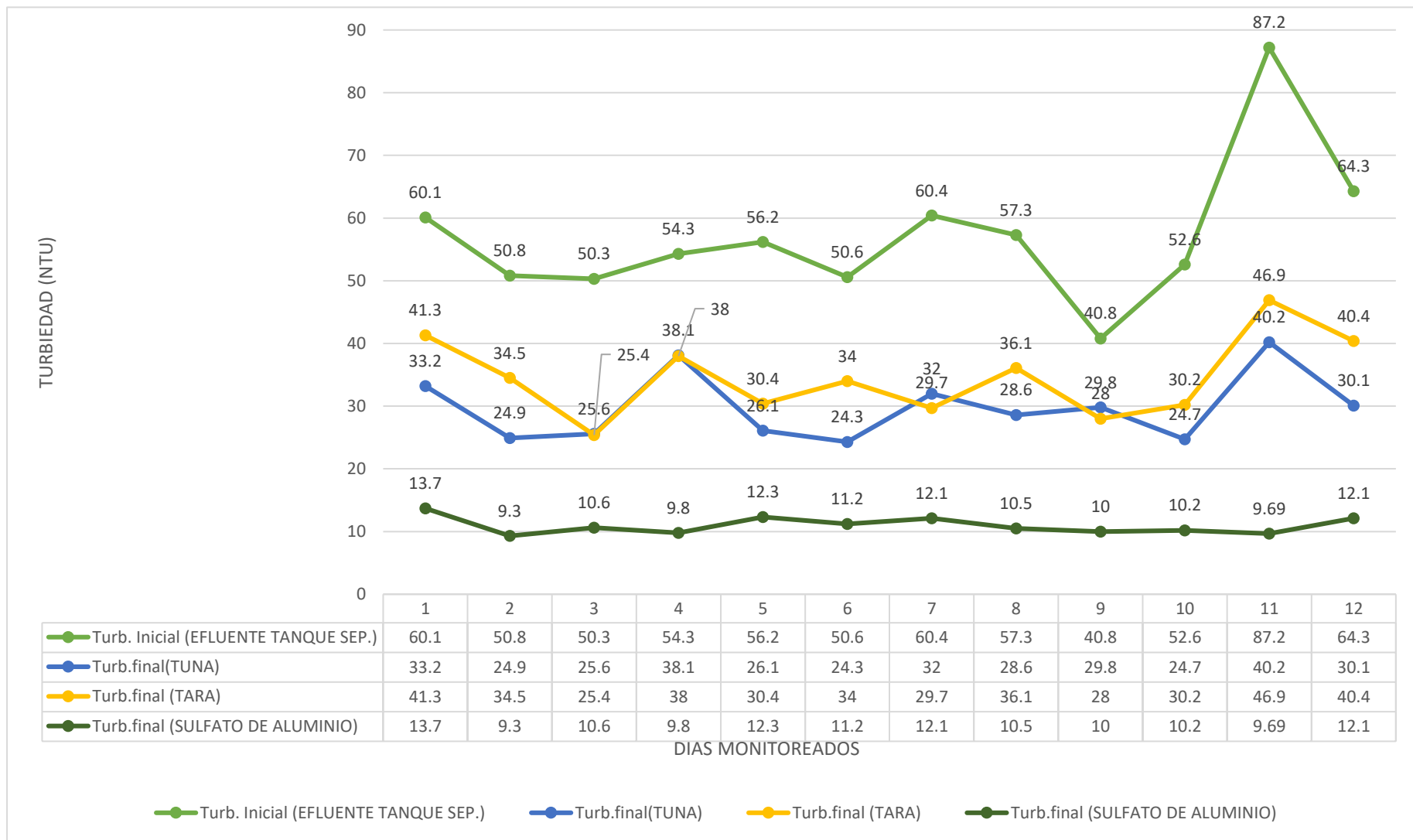


Figura 52. Variación de turbiedad en la tarde vs los 3 tipos de coagulantes.



- **Variación de la turbiedad final de los 3 tipos de coagulantes**

En la Figura 53 se observa que por la mañana por tipo de coagulante en variable turbidez final hay significancia, lo mismo ocurre en la tarde por tipo en la turbidez final.

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Turno	Origen	Variable dependiente	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Mañana	Modelo corregido	Turbidez Inicial	,000 <sup>a</sup>	17	,000	,000	1,000
		Turbidez Final	26773,473 <sup>b</sup>	17	1574,910	3,232	,000
	Intersección	Turbidez Inicial	1834854,000	1	1834854,000	2839,290	,000
		Turbidez Final	627341,036	1	627341,036	1287,473	,000
	Tipo	Turbidez Inicial	,000	2	,000	,000	1,000
		Turbidez Final	22664,365	2	11332,182	23,257	,000
	Dosis	Turbidez Inicial	,000	5	,000	,000	1,000
		Turbidez Final	2069,617	5	413,923	,849	,516
	Tipo * Dosis	Turbidez Inicial	,000	10	,000	,000	1,000
		Turbidez Final	2039,490	10	203,949	,419	,937
	Error	Turbidez Inicial	127954,920	198	646,237		
		Turbidez Final	96478,513	198	487,265		
	Total	Turbidez Inicial	1962808,920	216			
		Turbidez Final	750593,021	216			
Total corregido	Turbidez Inicial	127954,920	215				
	Turbidez Final	123251,986	215				
Tarde	Modelo corregido	Turbidez Inicial	3,638E-12 <sup>c</sup>	17	2,140E-13	,000	1,000
		Turbidez Final	20311,220 <sup>d</sup>	17	1194,778	25,424	,000
	Intersección	Turbidez Inicial	703632,015	1	703632,015	5526,396	,000
		Turbidez Final	207253,106	1	207253,106	4410,209	,000
	Tipo	Turbidez Inicial	,000	2	,000	,000	1,000
		Turbidez Final	18885,329	2	9442,664	200,934	,000
	Dosis	Turbidez Inicial	,000	5	,000	,000	1,000
		Turbidez Final	641,799	5	128,360	2,731	,021
	Tipo * Dosis	Turbidez Inicial	,000	10	,000	,000	1,000
		Turbidez Final	784,092	10	78,409	1,668	,090
	Error	Turbidez Inicial	25209,765	198	127,322		
		Turbidez Final	9304,800	198	46,994		
	Total	Turbidez Inicial	728841,780	216			
		Turbidez Final	236869,126	216			
Total corregido	Turbidez Inicial	25209,765	215				
	Turbidez Final	29616,020	215				

a. R al cuadrado = ,000 (R al cuadrado ajustada = -.086)

b. R al cuadrado = ,217 (R al cuadrado ajustada = ,150)

c. R al cuadrado = ,000 (R al cuadrado ajustada = -.086)

d. R al cuadrado = ,686 (R al cuadrado ajustada = ,659)

Figura 39. Prueba de efectos inter-sujetos de los 3 tipos de coagulantes.

En la Figura 54 se observa que por la mañana el mejor tratamiento fue al emplear el Sulfato de aluminio con un promedio de medias de 39.5232.

Asimismo, en la figura 55 se observa que por la tarde el tratamiento más eficiente fue al emplear el Sulfato de aluminio con un promedio de medias de 17.9707 seguido de *Opuntia ficus-indica* (tuna) con un promedio de medias de 35.4056 y finalmente *Caesalpinia spinosa* (tara) con un promedio de medias de 39.5514.

**Turno=Mañana**

Scheffe<sup>a,b</sup>

Tipo de coagulante	N	Subconjunto	
		1	2
Sulfato	72	39,5232	
Tuna	72		59,4819
Tara	72		62,6711
Sig.		1,000	,687

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 487.265.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 72.000.  
 b. Alfa = .05.

Figura 54. Variación de la turbiedad final en el turno de la mañana.

**Turno=Tarde**

Scheffe<sup>a,b</sup>

Tipo de coagulante	N	Subconjunto		
		1	2	3
Sulfato	72	17,9707		
Tuna	72		35,4056	
Tara	72			39,5514
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 46.994.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 72.000.  
 b. Alfa = .05.

Figura 55. Variación de la turbiedad final en el turno de la tarde.

- **Determinación de la DBO<sub>5</sub> para la dosis óptima de los 3 coagulantes**

En la Figura 56, se observa que la DBO<sub>5</sub> mínima pertenece al coagulante convencional sulfato de aluminio con el valor de 49.2 mg/L, luego sigue con un valor mínimo el coagulante *Opuntia ficus-indica* (tuna) con el valor de 62.1 mg/L y por último *Caesalpinia spinosa* (tara) con un valor mínimo de 92.4 mg/L.

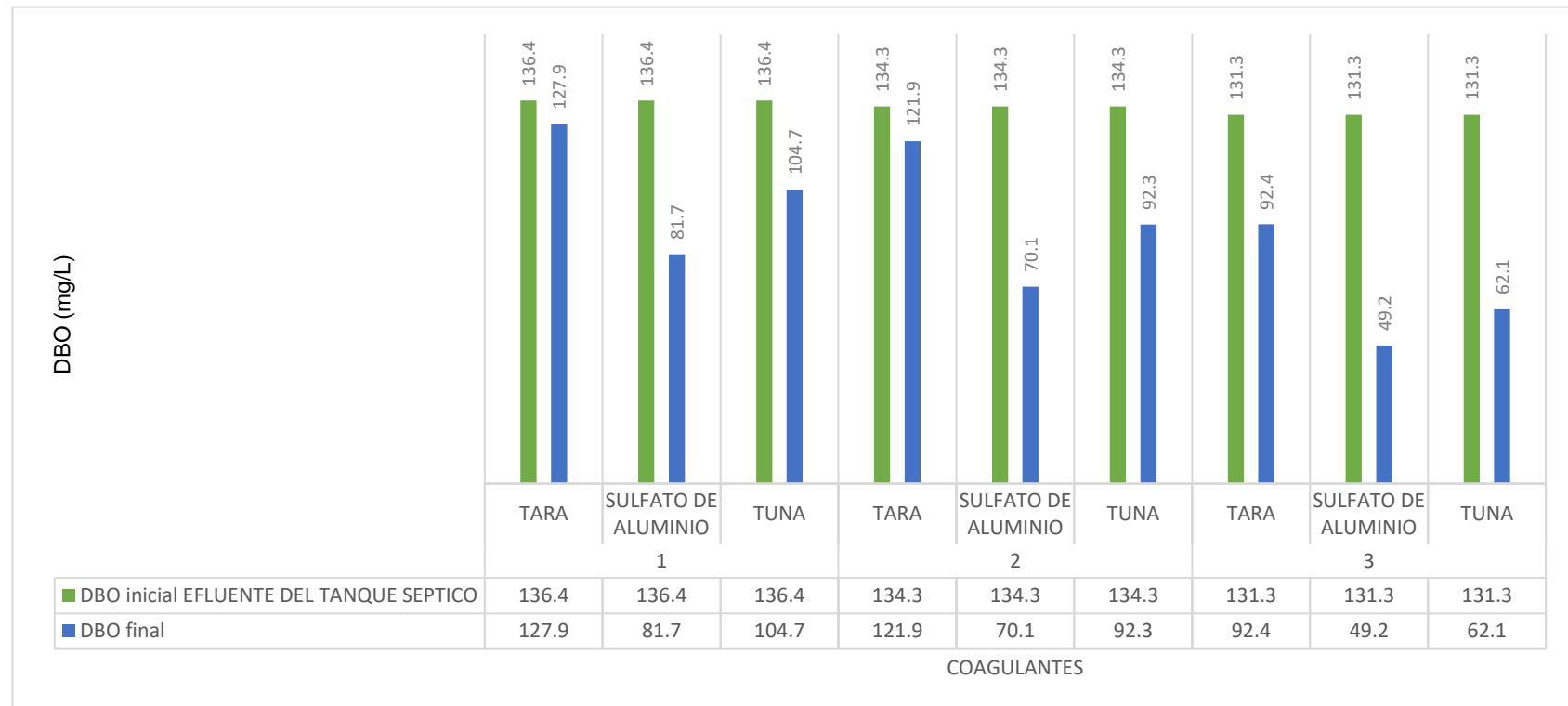


Figura 56. Variación de DBO<sub>5</sub> con las dosis óptimas de cada coagulante.

Tabla 10

*DBO<sub>5</sub>* inicial y final para las 3 corridas de cada coagulante.

<b>Corrida</b>	<b>Muestra de coagulantes</b>	<b>DBO inicial efluente del Tanque Séptico</b>	<b>DBO final</b>	<b>Remoción de DBO (%)</b>
<b>1ra semana</b>	Tara	136.4	127.9	6.23%
	Sulfato de aluminio	136.4	81.7	40.10%
	Tuna	136.4	104.7	23.24%
<b>2da semana</b>	Tara	134.3	121.9	9.23%
	Sulfato de aluminio	134.3	70.1	47.80%
	Tuna	134.3	92.3	31.27%
<b>3ra semana</b>	Tara	131.3	92.4	29.63%
	Sulfato de aluminio	131.3	49.2	62.53%
	Tuna	131.3	62.1	52.70%

### **Influencia de la DBO en la reducción de la turbiedad**

La contaminación por residuos domésticos o industriales puede agotar la cantidad de oxígeno que se encuentra en el agua, puesto que la materia orgánica requiere ello para su descomposición. La DBO es la medida de la valoración de la cantidad de materia orgánica que se encuentra en un cuerpo de agua. La excesiva cantidad de materia orgánica agota el oxígeno en el agua; ante estas condiciones el agua tiende a tomar una apariencia de color turbio y un mal olor “huevo podrido” (ácido sulfhídrico). (Roldán; 2013)

En la tabla 10 se observa que la DBO mínima corresponde al Sulfato de aluminio, seguido de *Opuntia ficus-indica* y finalmente *Caesalpinia spinosa*; lo mismo ocurre en la tabla 11 respecto a la turbiedad, ante lo mencionado se infiere que estos parámetros son proporcionales.

- **Remoción de turbiedad óptima para cada coagulante (%)**

En la Tabla 11 se observa el porcentaje (%) de remoción de turbiedad óptima para cada coagulante.

Tabla 11

*Remoción de turbiedad óptima de cada coagulante (%)*

<b>Coagulante</b>	<b>Turbiedad inicial</b>	<b>Turbiedad final</b>	<b>Remoción de turbiedad (%)</b>
<i>Opuntia ficus-indica</i> (40mg/L)	79.1	32.1	59.42%
<i>Caesalpinia spinosa</i> (40mg/L)	98.6	43.6	55.78%
Sulfato de aluminio (70mg/L)	103.2	8.67	91.60%

Al aplicar el tratamiento empleando Sulfato de aluminio se obtiene una disminución de turbidez en 91.60%, coincidiendo con lo señalado por Meza et al. (2018) argumentando que al aplicar el tratamiento con este coagulante se puede lograr reducir más del 96% de la turbidez.

Al emplear *Opuntia ficus-indica* en el tratamiento se obtiene una disminución de turbidez en 59.42%, esto coincide con lo que indica Olivero (2013) quien alega que al aplicar el tratamiento con este coagulante se obtiene resultados de remoción de turbidez hasta el 93.25%.

Al emplear *Caesalpinia spinosa* se obtiene una disminución de turbidez de 55.78%, ante ello se discrepa con Terrones (2019) en el cual utilizó cuatro dosis las cuales fueron 1, 2, 3 y 4 gramos, la dosis óptima para ella fue 4 gramos reduciendo la turbiedad en 54.84%, esto da a entender que a mayor dosis mayor eficiencia en cuanto a la turbidez.

- **Variación de conductividad eléctrica y dosis óptimas diarias empleando sulfato de aluminio**

En la Figura 57 se observa que en el turno de la mañana que al emplear el coagulante sulfato de aluminio se obtiene una conductividad mínima de 648.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  siendo la dosis óptima de este coagulante de 70mg/L, teniendo como conductividad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 886.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Asimismo, en la Figura 58 se observa que en el turno de la tarde al emplear el coagulante sulfato de aluminio se obtiene una conductividad mínima de 687.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  siendo la dosis óptima de este coagulante de 70mg/L, teniendo como conductividad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 816.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

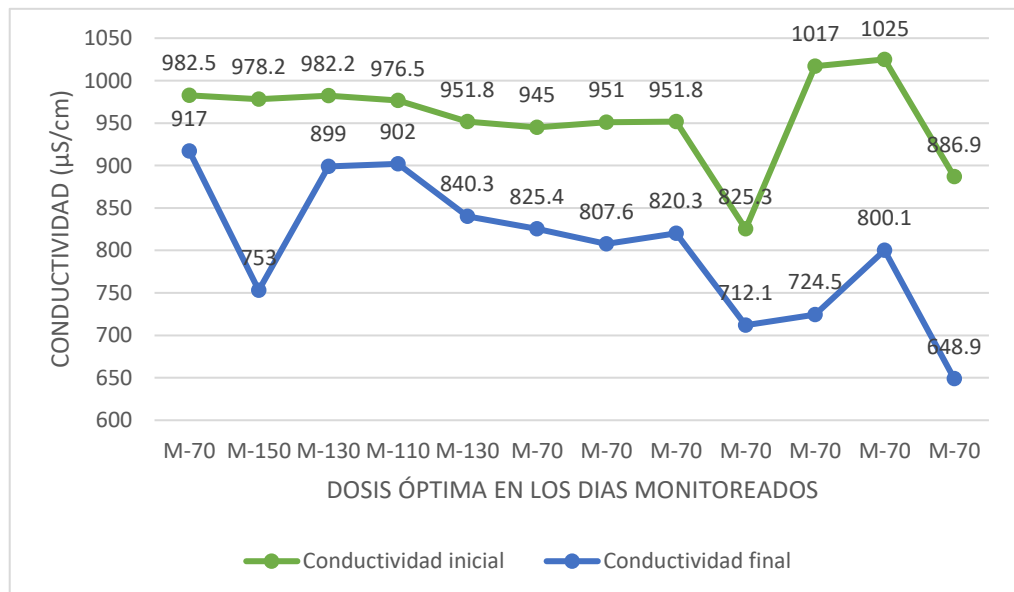


Figura 57. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando sulfato de aluminio.

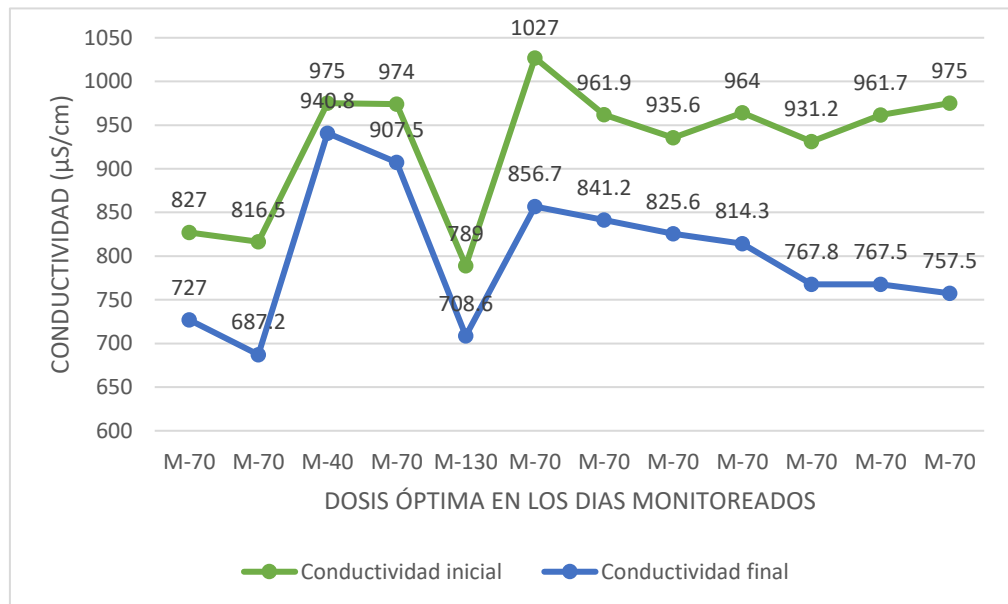


Figura 58. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando sulfato de aluminio.

- **Variación de conductividad eléctrica y dosis óptimas diarias empleando *Opuntia ficus-indica***

En la Figura 59 se observa que en el turno de la mañana que al emplear el coagulante *Opuntia ficus-indica* se obtiene una conductividad mínima de 794.3 µS/cm siendo la dosis óptima de este coagulante de 40mg/L, teniendo como conductividad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 825.3 µS/cm.

Asimismo, en la Figura 60 se observa que en el turno de la tarde al emplear el coagulante *Opuntia ficus-indica* se obtiene una conductividad mínima de 703.7 µS/cm siendo la dosis óptima de este coagulante de 40mg/L, teniendo como conductividad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 931.2 µS/cm.

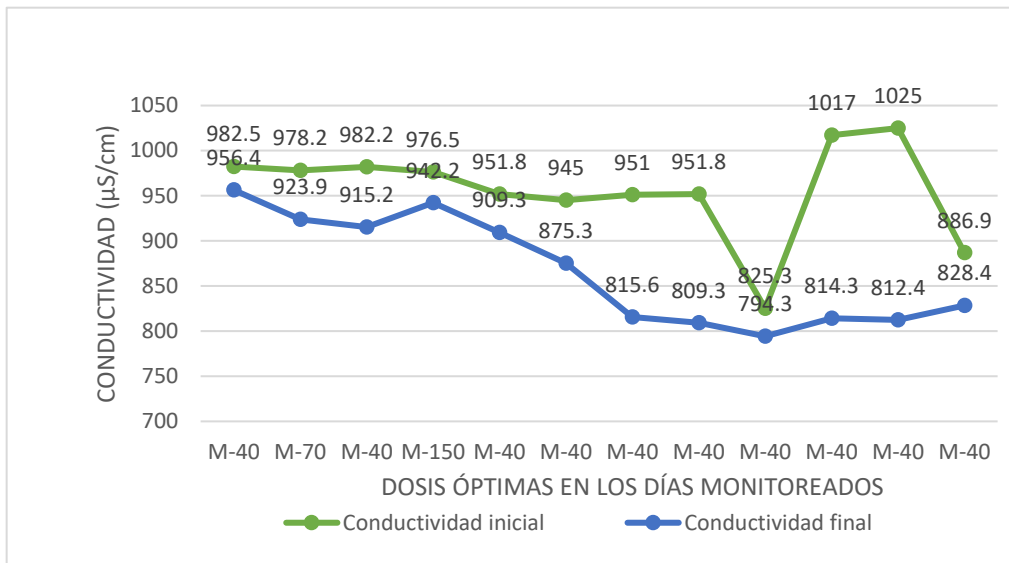


Figura 40. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando *Opuntia ficus-indica*.

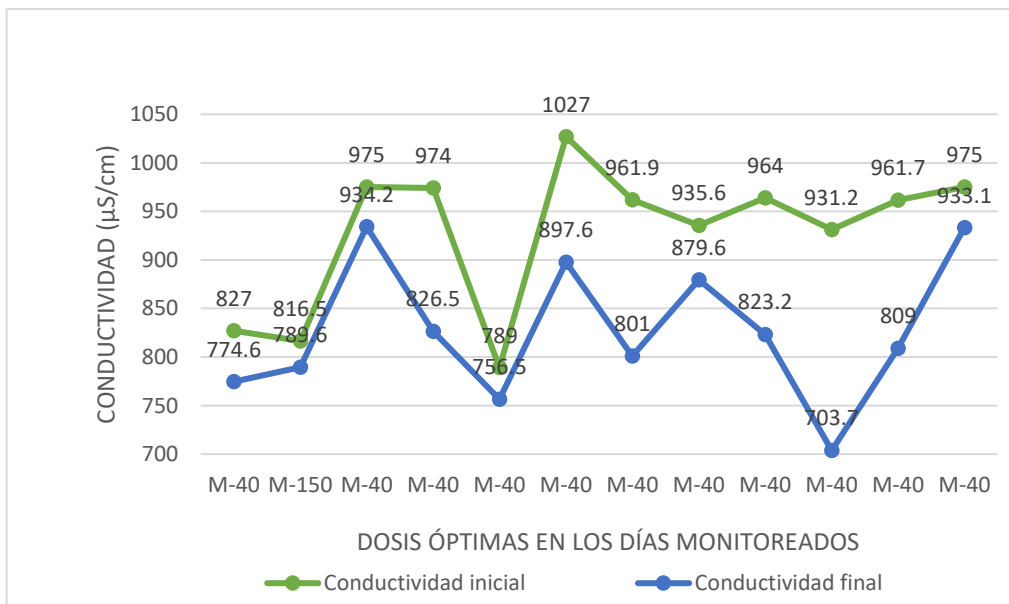


Figura 41. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando *Opuntia ficus-indica*.

- **Variación de conductividad eléctrica y dosis óptimas diarias empleando *Caesalpinia spinosa***

En la Figura 61 se observa que en el turno de la mañana que al emplear el coagulante *Caesalpinia spinosa* se obtiene una conductividad mínima de 700.6 µS/cm siendo la dosis óptima de este coagulante de 40mg/L,



teniendo como conductividad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 886.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Asimismo, en la Figura 62 se observa que en el turno de la tarde al emplear el coagulante *Caesalpinia spinosa* se obtiene una conductividad mínima de 645.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  siendo la dosis óptima de este coagulante de 130mg/L, teniendo como conductividad inicial (efluente UASB Tanque Séptico) el valor de 931.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

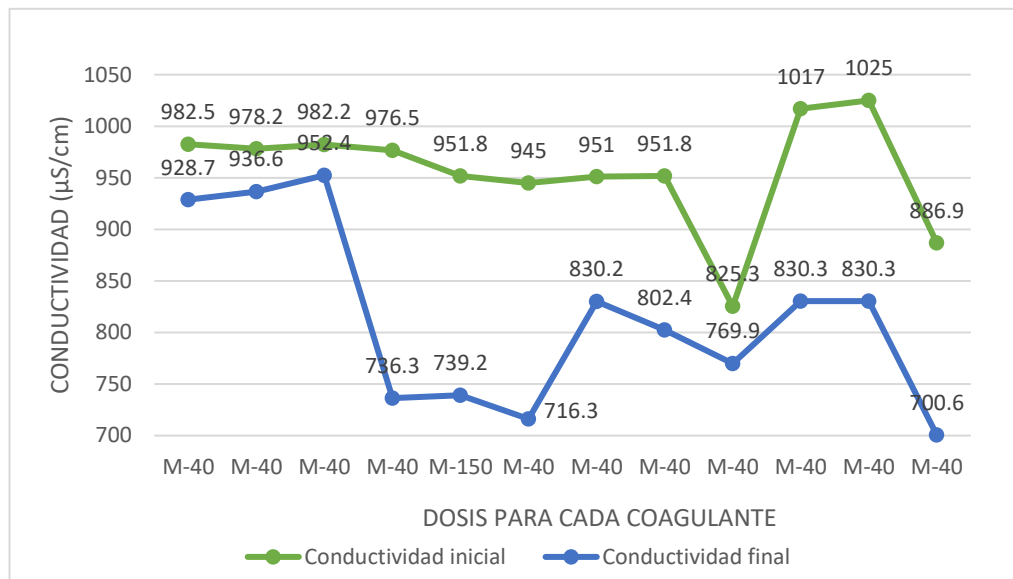


Figura 61. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la mañana empleando *Caesalpinia spinosa*.

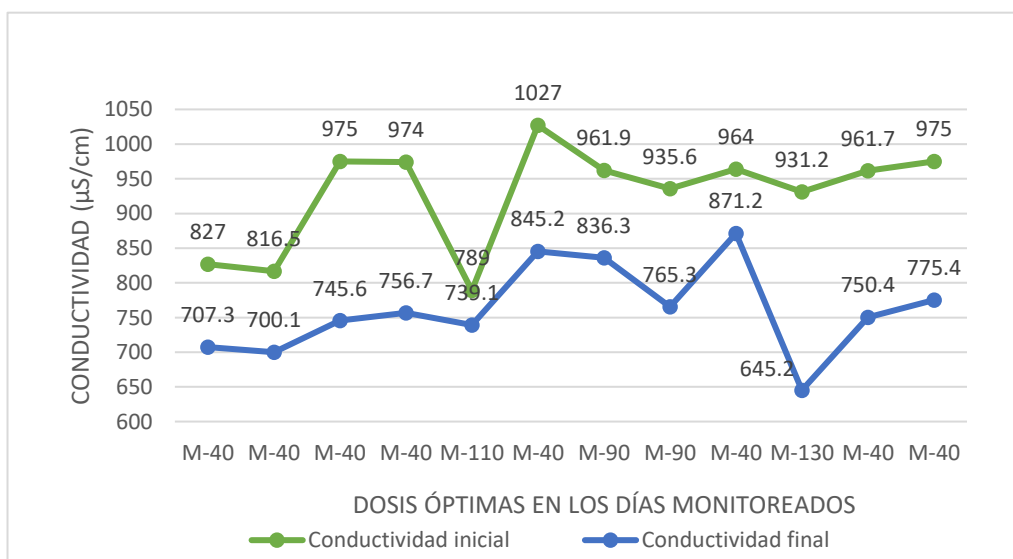


Figura 42. Variación de conductividad vs las dosis óptimas diarias en la tarde empleando *Caesalpinia spinosa*.

- **Remoción de conductividad óptima para cada coagulante (%)**

En la Tabla 12 se observa el porcentaje (%) de remoción de conductividad óptima para cada coagulante.

Tabla 12

*Remoción de conductividad óptima de cada coagulante (%)*

<b>Coagulante</b>	<b>Conductividad inicial</b>	<b>Conductividad final</b>	<b>Remoción de conductividad (%)</b>
<i>Opuntia ficus-indica</i>	931.2	703.7	24.43%
<i>Caesalpinia spinosa</i>	931.2	645.2	30.71%
Sulfato de aluminio	1017	724.5	28.76%

- **Determinación del promedio de temperatura final para cada dosis**

En la Figura 63 se observa que con una dosis de sulfato de aluminio de 150 mg/L se obtiene la menor reducción de temperatura de 27.75°C, a comparación que con una dosis de 110 mg/L siendo la de mayor promedio de temperatura con 28°C.

Asimismo, en la Figura 64 se observa que con una dosis de *Caesalpinia spinosa* de 70 mg/L se obtiene la menor reducción de temperatura de 27.68°C, a comparación que con una dosis de 130mg/L siendo la de mayor promedio de temperatura con 27.91°C.

Además, en la Figura 65 se observó que con una dosis de *Opuntia ficus-indica* de 150 mg/L se obtiene la menor reducción de temperatura de 27.87°C, a comparación que con una dosis de 40mg/L siendo la de mayor promedio de temperatura con 28.50°C.

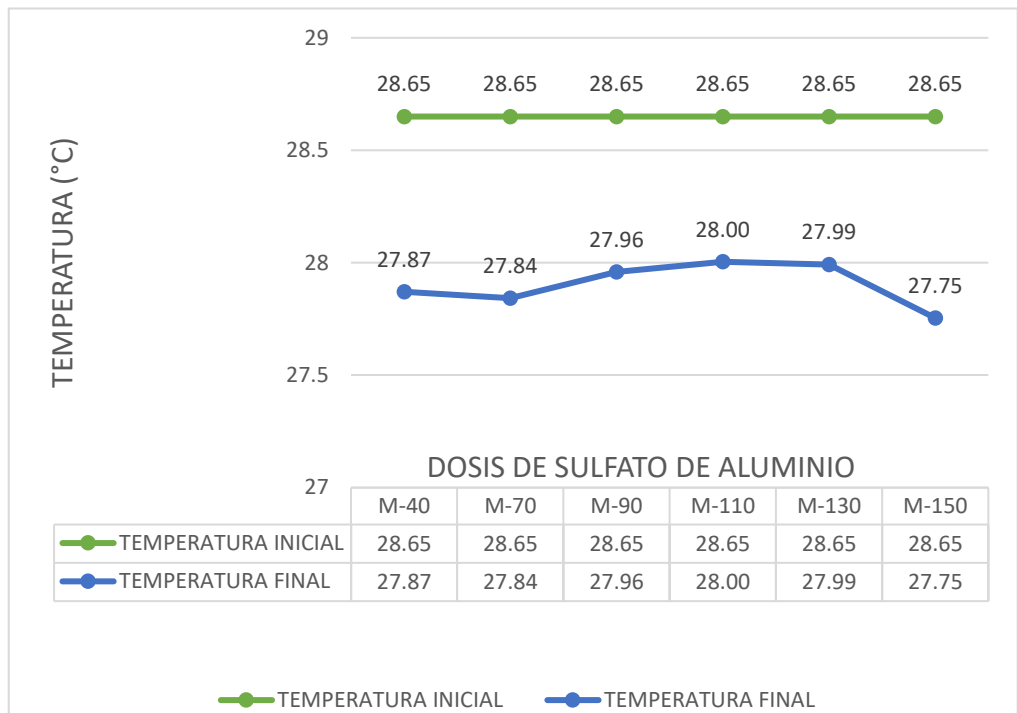


Figura 63. Promedio de temperatura final para cada dosis empleando sulfato de aluminio.

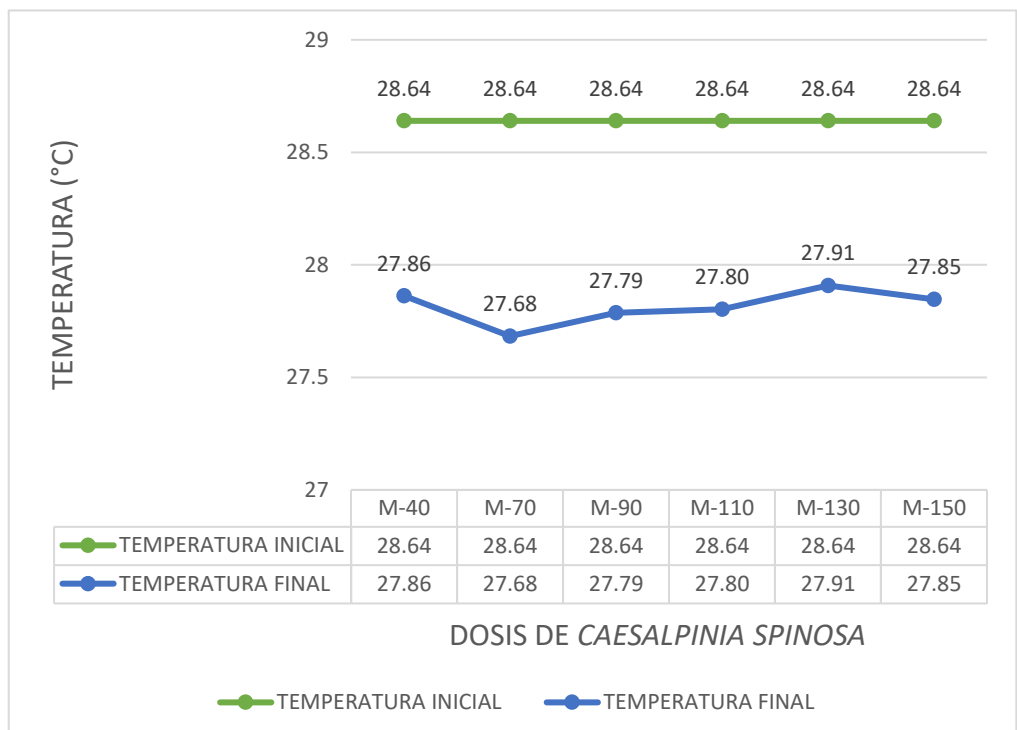


Figura 64. Promedio de temperatura final para cada dosis empleando Caesalpinia spinosa.

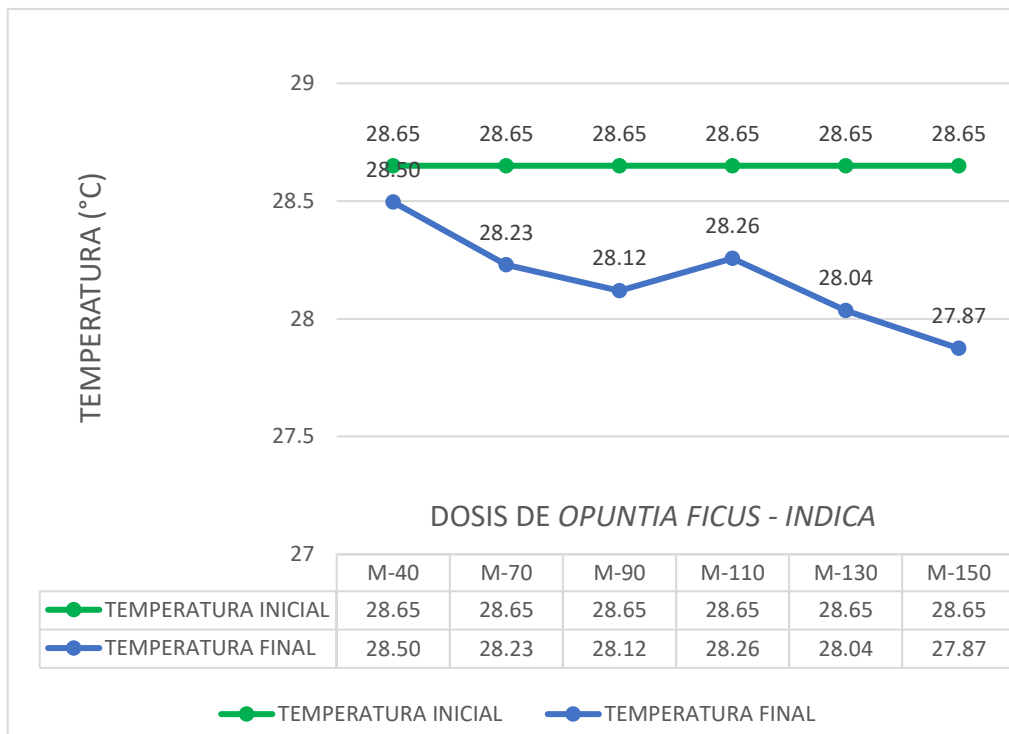


Figura 43. Promedio de temperatura final para cada dosis empleando *Opuntia ficus-indica*.

- **Determinación del promedio de pH final para cada dosis**

En la Figura 66 se observa que con una dosis de 130 mg/L de Sulfato de aluminio se obtiene la menor reducción de pH de 7.26, a comparación que con una dosis de 40 mg/L siendo la de mayor promedio de pH con 7.44.

Además, en la Figura 67 se observa que con una dosis de *Caesalpinia spinosa* de 90 mg/L se obtiene la menor reducción de pH de 7.32, a comparación que con una dosis de 40 mg/L siendo la de mayor promedio de pH con 7.46.

Luego, en la Figura 68 se observa que con una dosis de *Opuntia ficus-indica* de 70 mg/L se obtiene la menor reducción de pH de 7.75, a comparación que con una dosis de 110 mg/L siendo la de mayor promedio de pH con 7.78.

Ante lo mencionado, se concuerda con Moreno (2016) quien indican que al aplicar biocoagulantes tal como *Opuntia ficus-indica*, *Caesalpinia spinosa* estas no alteran su pH. Además, Sonune et al. (2004) sustentan que después del tratamiento primario (proceso de coagulación y floculación) es mejor que el pH sea cercano a la neutralidad puesto que después se procede con el tratamiento secundario en donde los pH neutros son los óptimos. Asimismo, Lozano (2012) sostiene que el pH que se encuentra entre 7 – 8 son los más adecuados para el proceso de coagulación y floculación.

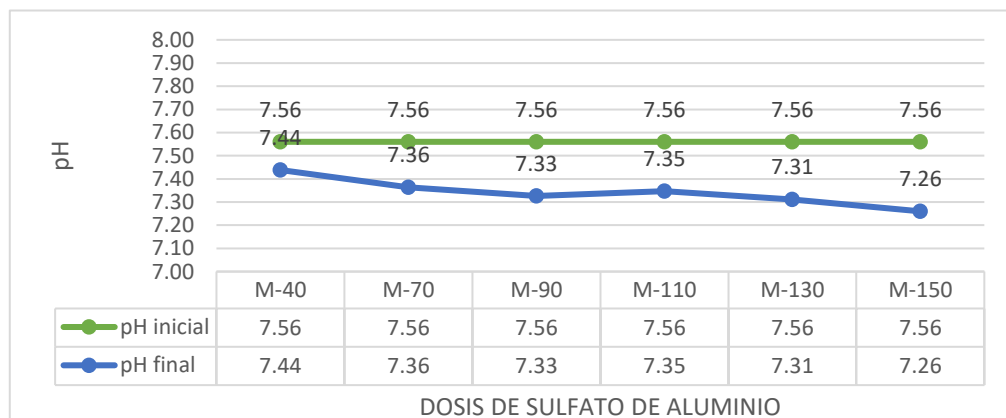


Figura 66. Promedio de pH final para cada dosis empleando Sulfato de aluminio.

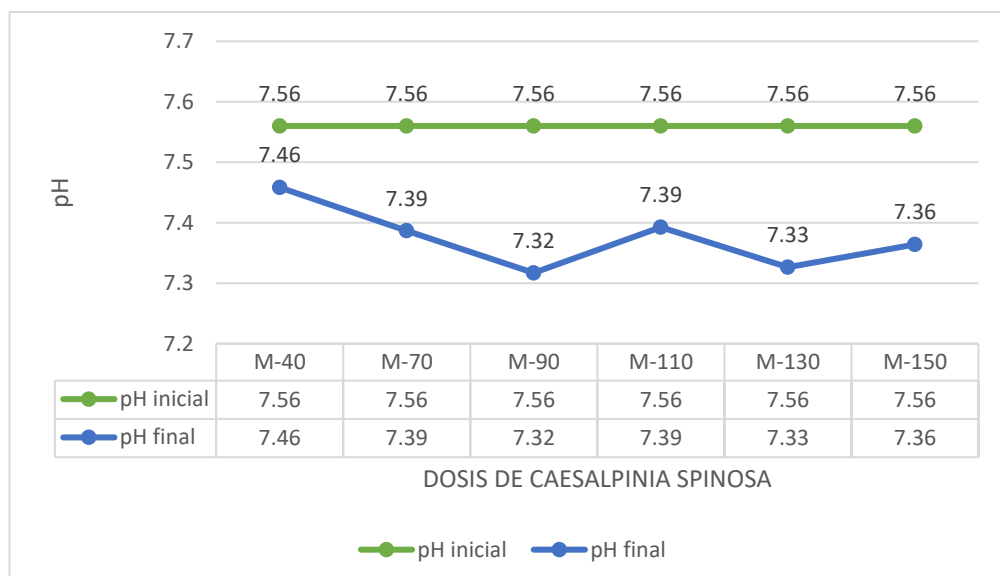


Figura 67. Promedio de pH final para cada dosis empleando *Caesalpinia spinosa*.

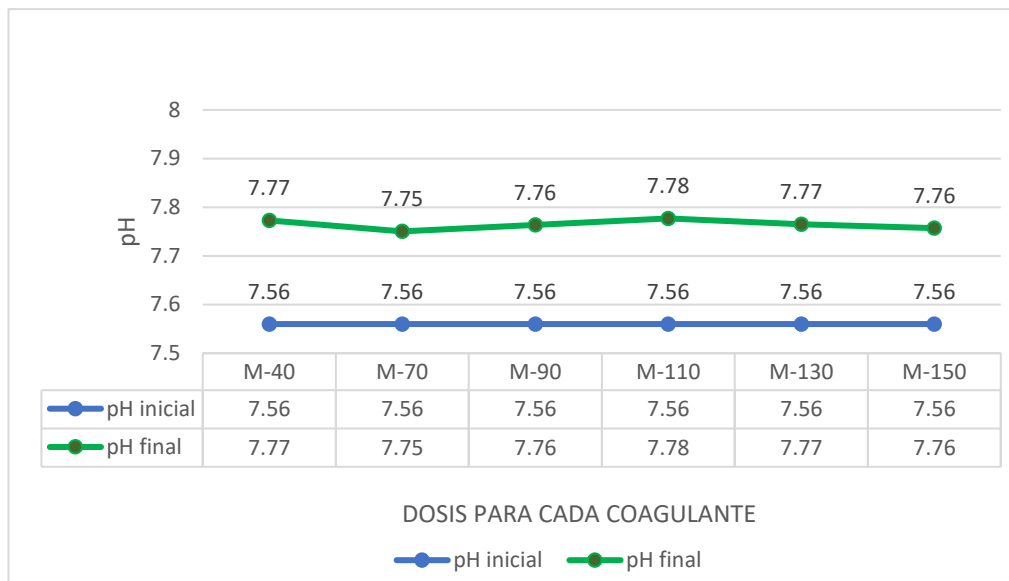


Figura 68. Promedio de pH final para cada dosis empleando *Opuntia ficus-indica*.

- **Comparación del Índice de Willcomb vs dosis para cada coagulante**

En la Figura 69, en cuanto al tamaño de flóculos en el caso del coagulante tara (*Caesalpinia spinosa*), a una dosis de 150 mg/l este obtuvo un valor máximo de 6. Este resultado concuerda con Aguilar (2010) quien empleó goma de tara para tratar aguas sintéticas con baja turbiedad en el cual obtuvo un valor de 6 en el índice de Willcomb.

En el caso del coagulante tuna (*Opuntia ficus-indica*), a una dosis de 40 mg/l este obtuvo un valor máximo de 10. Este resultado concuerda con Jiménez, Vargas y Quirós (2012) quienes sostienen que la tuna a bajas concentraciones tiene gran capacidad para formar flóculos de buena calidad.

Finalmente, al emplear el sulfato de aluminio a una dosis de 150 mg/l este obtuvo un valor máximo de 4. Se presentó gran producción de lodos puesto que se manejó alta cantidad de sales metálicas, esto concuerda con lo indicado por Bolto et al. (2001).

Turchiulli y Fargues (2004). Esto se da puesto que los flóculos que se forman poseen baja velocidad de sedimentación lo que hace que no sea muy estable y de menor tamaño.

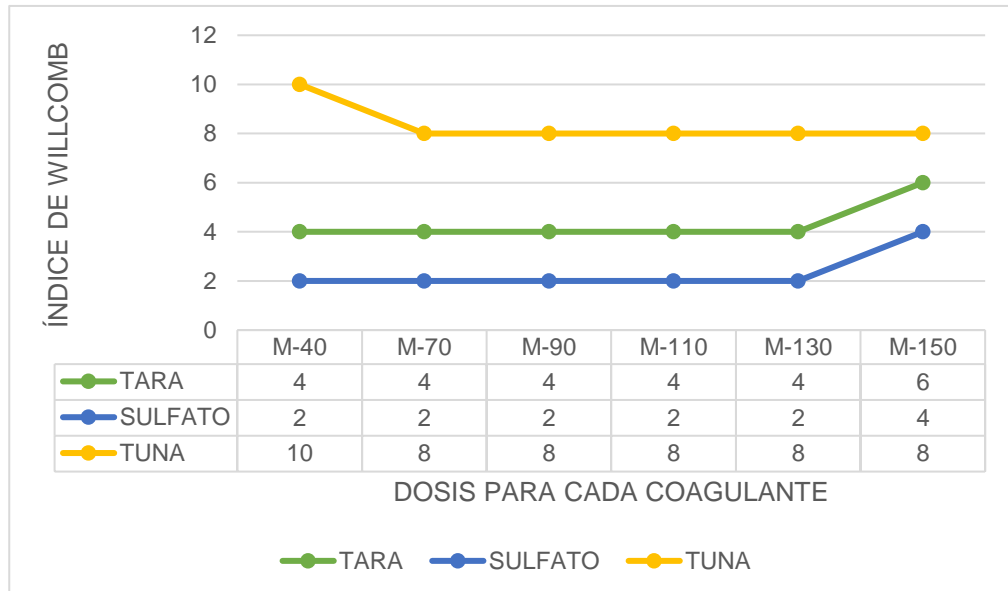


Figura 44. Comparación del índice de Willcomb vs dosis de los 3 tipos de coagulantes.

- Comparación con la normativa Estándar de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 y Límites Máximos Permisibles (LMP)**

En la Figura 70, se observa que la  $DBO_5$  mínima pertenece al coagulante convencional sulfato de aluminio con el valor de 18.5 mg/L. Este no cumple con el ECA categoría 3 puesto que debe de tener el valor de 15 mg/L. Sin embargo, si cumple con el LMP puesto que debe de ser menor a 100 mg/L.

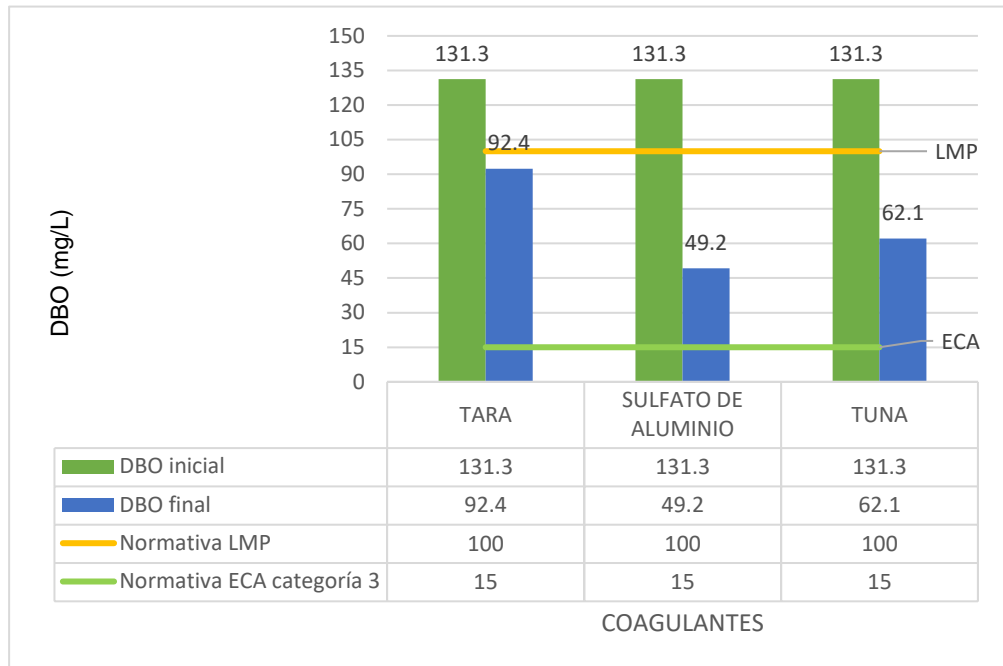


Figura 70. Comparación de DBO5 con la normativa ECA categoría 3 y LMP.

En la Figura 71, se observa que la temperatura promedio varía entre 27 a 29 °C. Ante lo mencionado, se cumple con la normativa ECA categoría 3 puesto que sostiene que debe de variar 3°C ( $\Delta 3$ ) y además, se cumple con el LMP puesto que es menor a 35°C.

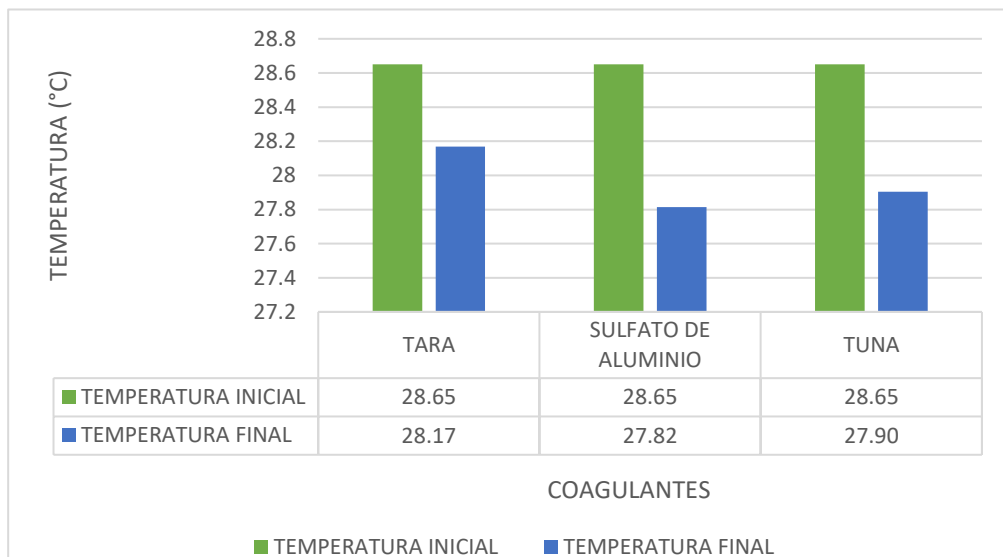


Figura 71. Comparación de temperatura con la normativa ECA categoría 3 y LMP.



En la Figura 72, se observa que la conductividad óptima mínima en la mañana pertenece al coagulante convencional sulfato de aluminio con el valor de 804.18  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Además, la conductividad óptima mínima en la tarde pertenece al coagulante convencional tara (*Caesalpinia spinosa*) con el valor de 762.03  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sin embargo, no se cumple con el ECA categoría 3 puesto que debe de tener el valor de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en cuanto al LMP no especifica un valor puesto que la normativa no exige el cumplimiento de este parámetro puesto que es muy variable para efluentes en PTAR.

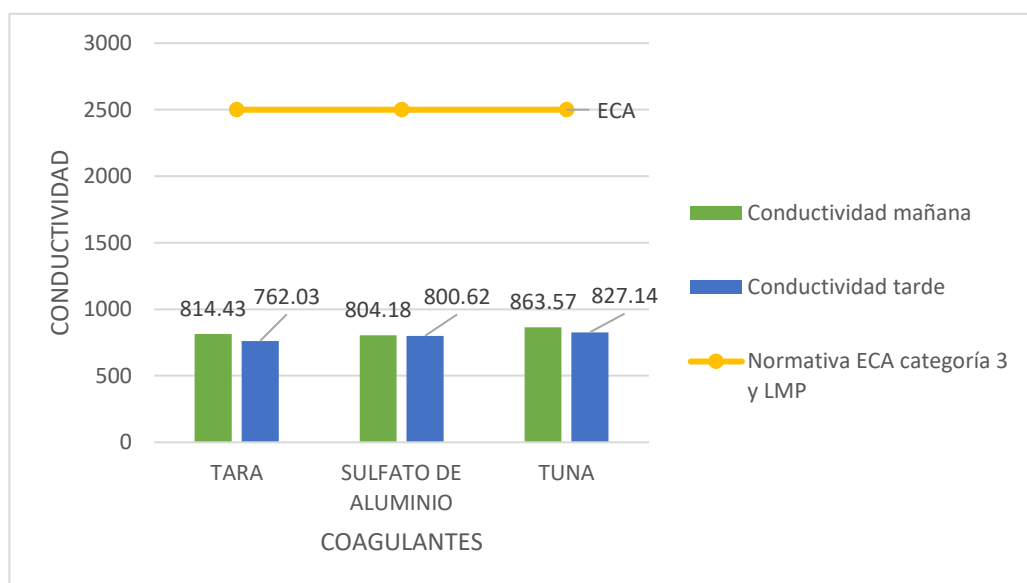


Figura 72. Comparación de conductividad óptima con las normativas.

En la Figura 73, se observa que el pH varía entre 7 a 8, ello concuerda con la normativa ECA categoría 3 y el LMP quienes mencionan que el pH debe de variar entre 6.5 a 8.5.

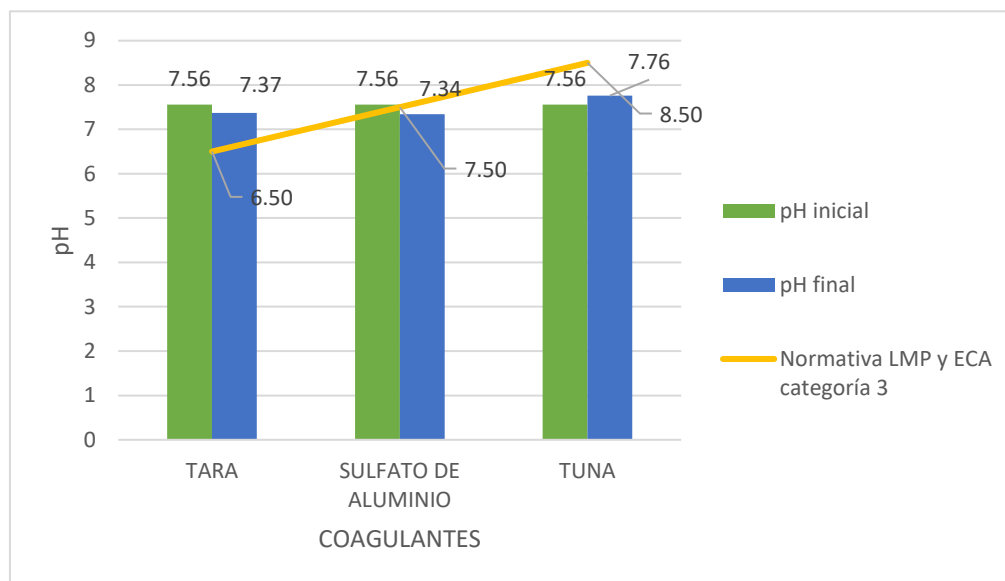


Figura 73. Comparación de pH promedio con las normativas ECA categoría 3 y LMP.

## CONCLUSIONES

- Luego de haber evaluado la eficiencia de los tres coagulantes en la remoción de la turbiedad del efluente UASB del tanque séptico del CITRAR-UNI, se concluye que al emplear *Opuntia ficus – indica* se logra un 59.42%, al emplear *Caesalpinia spinosa* un 55.78% y al emplear Sulfato de aluminio un 91.60%.
- Con respecto a la evaluación de los parámetros fisicoquímicos al emplear *Opuntia ficus – indica* se obtuvo  $DBO_5$  de 62.1 a 122.3 mg/L, pH de 7.75 a 7.78 conductividad eléctrica de 703.7 a 942.6  $\mu\text{S/cm}$ , temperatura de 27.87 a 28.50 °C; al emplear *Caesalpinia spinosa* se obtuvo  $DBO_5$  de 142.4 a 167.9 mg/L, pH de 7.32 a 7.46, conductividad eléctrica de 645.2 a 952.4  $\mu\text{S/cm}$ , temperatura de 27.68 a 27.91°C; y al emplear Sulfato de aluminio se obtuvo  $DBO_5$  de 49.2 a 81.7 mg/L, pH de 7.26 a 7.44 conductividad eléctrica de 724.5 a 940.8  $\mu\text{S/cm}$ , temperatura de 27.75 a 28 °C; siendo estos parámetros que exceden los Estándares de Calidad Ambiental categoría 3 y los Límites máximos permisibles a excepción de la temperatura, pH y conductividad.
- Se determinó que la dosis óptima para reducir la turbiedad al emplear Sulfato de aluminio fue de 70mg/L, para *Opuntia ficus-indica* fue de 40mg/L y para *Caesalpinia spinosa* fue de 40mg/L.
- El coagulante químico empleado en este proyecto, fue mucho más efectivo que los coagulantes naturales empleados para reducir la turbiedad del efluente UASB del Tanque Séptico. Sin embargo, el *Opuntia ficus-indica* y la *Caesalpinia spinosa*, son muy buenas alternativas para reemplazar el Sulfato de aluminio, además son óptimos para el manejo ambiental de los lodos en el tratamiento de agua residual doméstica puesto que dejan claro la muestra de agua y los flóculos se sedimentan haciendo que sean de fácil mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

- Cuando la turbidez sea alta se debe de utilizar la dosis de 40mg/L al emplear *Opuntia ficus-indica*, 70mg/L al emplear Sulfato de aluminio o 110mg/L al emplear *Caesalpinia spinosa*.
- Para disminuir la turbidez, los mejores resultados fueron al emplear Sulfato de aluminio con una remoción de 91.60%, seguido de *Opuntia ficus – indica* con una remoción de 59.42%, finalmente *Caesalpinia spinosa* con una remoción de 55.78%; por lo que se sugiere realizar combinaciones con estos coagulantes naturales antes mencionados a fin de poder introducirlos como aditivos coadyuvantes en los procesos de coagulación y floculación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramovich et al. (14 de mayo de 2009). Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. *AUGM\_DOMUS*. 1(1), p. 18-26.
- Alcázar (2015). *Aplicación de un coagulante natural obtenido a partir de la penca de tuna (Opuntia ficus indica) para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla* (tesis de pregrado). Universidad Mayor De San Andres, La Paz, Bolivia.
- Almendárez, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 5(1), p.46-54.
- Andía, De Vargas y Barrenechea (2000). Tratamiento de agua: coagulación-floculación. *Evaluación de plantas y Desarrollo Tecnológico*. Sedapal. Lima, Perú.
- Apaza (2013). Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa. *Economía y sociedad 82, CIES*. 1(1), p. 76-84.
- Aquino, Chavarría, Chávez, Guzmán, Silva (2012). Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia spp.*) c olor rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Dialnet*. 1(55), p.3-10.
- Arboleda (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. 3ra edición Bogotá Colombia: Mc Graw Hill, Acodal 200.
- Arias, Hernández, Castro y Sánchez (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. oleífera como

coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. (1), 29-39.

Arnal, García, Sancho y Lora (2006). Water potabilization in developing countries: natural coagulants. *Desalination 200* (2006), 325–326.

Ayala y Coronel (2017). *Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del refugio de vida silvestre pantanos de Villa utilizando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.

James K. Edzwald (1990). *Water quality and treatment*. AWWA (American Water Works Association, USA). EUA.

Bravo y Guitérrez (2016). *Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del rio Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (tara)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Bratby (2006). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. Inglaterra: IWA Publishing.

Barba (2002). *Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua y Parámetros de Medición*. Universidad del Valle.

Bastidas & Palomino (2013). *Estudio de tratamiento de aguas residuales proveniente del colector Huaycán mediante Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) a escala piloto* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería.

Bogte, J.J., Breure, A.M., Van Andel, J.G., & Lettinga, G. (1993). Anaerobic treatment of domestic wastewater in small scale UASB reactors. *Water Science and Technology*. 27(9), p.75-82.

Bolívar (s.f). Sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ): estructura, usos, tipos, toxicidad. Disponible en <https://www.lifeder.com/sulfato-de-aluminio/#Tipos>.

Bolto, Dixon, Eldridge & King (2001). Cationic polymer and clay or metal oxide combinations for natural organic matter removal. *Water Research*, 35(11), 2669-2676.

Boyd (2014). Top Industrial Uses for Aluminum Sulfate. Tomado de: chemservice.com

Castaño (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

Castrillón (2012). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en la planta de tratamiento de Villa Santana* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

Chulluncuy (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 29, 160.

MINAM (2017). Aprueban estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas y establecen disposiciones complementarias (publicado el 7 de junio del 2017). Diario Oficial El Peruano.

De la Cruz (2004). Aprovechamiento integral y racional de la Tara *Caesalpinia Spinosa* Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, minera, metalúrgica, 7(14), 64-73. doi: 10.15381/iigeo.v7i14.733

Delgadillo, Marcelo y Condori (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales con micrófitos para comunidades cercanas al lago Titicaca. *Jornal Boliviano de ciencias*, 7(21), p. 24-81.

- Díaz (2010). Forestación piloto con la tara en la microcuenca de San Juan (alto Jequetepeque) Cajamarca. *Revista de la Facultad de Ingeniería industrial*. 13(1), p. 45-55.
- Díaz (2014). *Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas* (tesis de maestría). Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán.
- Días, Gonzaga & Contreras (2007). Determinación del coagulante que permita la máxima remoción de fosfatos en agua cruda del río Otún. *Scientia Et Technica*. 13(34), p. 607-612.
- Duan y Gregory (2003). Coagulation by hydrolysing metal salts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100(102), 475-502.
- Fsanz (Food Standards Australia New Zealand, AT) (2006). Final Assessment report – Application A546: Tara gum as a food additive (en línea). Consultado 12 enero 2015.
- Fonnegra (2007). Registro de algunas plantas medicinales cultivadas en San Critóbal, municipio de Medellín (Antioquía – Colombia). *Revistas Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*. 28(2), 7647-7658.
- Giordani, S., Gonzáles, L., Morales, A., Quijano, J., Tejada, A., (2008). Factibilidad del uso de polímeros para la clarificación de agua potable en la ciudad de Mérida. *Revista Científica Juvenil*, 7(8), 97-108.
- Huachaca y Gonzales (2017). Aplicación factorial  $2^4$  en la remoción de turbiedad del río rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara. *Revista de investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(1), 18-27. doi: 10.17162/rictd.v3i1.648.



- Jiménez, Vargas y Quirós (2012). Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. *Tecnología en marcha*, 25(4), 58-59.
- Hach Company (2010). User manual for conductivity probe models *CDC40101, CDC40103, CDC40105, CDC40110, CDC40115 and CDC40130, DOC022.53.80022*.
- Kumar, Krishna & Sivasankar (2015). Cagulation perfomance evaluation of natural and synthetic coagulants in waste wáter treatment. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 10(5), 2714-2717.
- León (2010). *Secado por aspersion de mucílago de nopal (Opuntia ficus-indica) y su efecto en las propiedades reológicas de los polvos reconstituidos* (tesis para optar la maestría). Instituto Politécnico Nacional Oaxaca, México.
- Letterman, Amirtharajah y O'Melia (1999). Coagulation and Flocculation. Water Quality and Treatment. *American Water Works Association*.
- López et al. (2015). *Depuración de agua residual*. España: Elearning S.L. España.
- Maldonado (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Lima, Perú: Manual i: teoría, p. 216-283.
- Lozano (2012). Uso del extracto de Fique (*Fucraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. *Contaminación ambiental*. 28(3), p.219-227.
- Martinez y González (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia ficus-indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas* (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena.
- McGarvie & Parolis (1981). The acid-labile peripheral clains of the mucilage of *Opuntia ficus-indica*. *Carbohydrate Research*. 94, 57-65.

- Metcalf & Eddy (2003). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Editorial Mc Graw Hill.
- Meza, Riaños, Mercado, Olivero & Jurado (2018). Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and Moringa oleifera seeds in the clarification process of water in the swamp of Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*. 17(2), 95-104.
- Montenegro (2019). *Comparación de la eficiencia del mucílago de Opuntia ficus-indica y goma de Caesalpinia spinosa en la mejora de la calidad de agua residual de camal* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Moreno (2016). *Disminución de la turbidez del agua del río crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.
- Olivero (2013). *Efectividad de producción de lodos residuales* (tesis de pregrado). Universidad del Valle.
- Orozco (2011). *Contaminación ambiental*. Editorial, Paraninfo SA – España.
- Orozco (2017). *Elaboración y caracterización de películas de mucílago de nopal-pectina: efecto de la concentración del mucílago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Pompilio (2013). *Uso de floculantes de origen natural en el tratamiento del agua en términos de turbidez en el río Santa – Huaraz*. Monografía científica (Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú.

- Puentes (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales.
- Revelo, Proaño y Banchón (2018). Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*, p.1-12.
- Ríos Y Quintana (2004). Manejo general del cultivo del nopal. Material de enseñanza. México, Puebla, Sam Luis de Potosí, Tabasco, Veracruz, Córdoba: Colegio de Postgraduados.
- Roldán (2013). La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad del Antioquia, Medellín. 170p.
- Romero (2004). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de ingeniería.
- Romero (2010). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de ingeniería.
- Romero (2018). Cálculo de la relación de pH, concentración y nivel cantidad de la especie *Caesalpinia spinosa* para remover turbiedad en el periodo de avenidas para el rio Paria, Huaraz-Ancash-2016 (tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz-Ancash, Perú.
- Romero (1990). Calidad del agua. Departamento de Bioquímica de la Universidad San Francisco Xavier.
- Sáenz (2019). Comparación de la eficiencia de *Moringa oleifera* y *Caesalpinia spinosa* para mejorar la calidad del agua residual del Dren 2000, pág. 50 y 51.
- Sonune & Ghate (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55-63.

- Souza et al. (2016). Evaluation of using aluminum sulfate and water soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water, *Chemosphere*, 163, 133-141.
- Terrones (2019). Dosis óptima de la goma *Caesalpinia spinosa* para la mejora de la calidad del agua del río Chancay – Lambayeque, p. 42.
- Torrelavega (1996). Jornada Técnica sobre Responsabilidad Civil por Daños al Medio Ambiente. Madrid: Signatura.
- Turchiuli & Fargues (2004). Influence on structural properties of alum and ferric flocs on sludge de water ability. *Chemical Engineering Journal*, 103 (1-3), 123-131.
- UNEP (2010). The central role of wastewater management in sustainable development.
- Vaca, López, Flóres, Terres, Lizardi y Rojas (2014). Aplicación del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante primario de aguas residuales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*.7(3), p.210-216.
- Vargas y Javier (2015). Uso potencial de la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) para el desarrollo de nuevas películas y recubrimientos comestibles compuestos (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional.
- Villanueva (2007). *La Tara – el oro verde de los Incas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1. Registro de datos de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua empleando el coagulante Sulfato de aluminio**

DIAS	CORRIDAS	DOSIS	PH INICIAL	PH FINAL	TURB. INICIAL	TURB.FINAL	TEMP. INICIAL	TEMP.FINAL	CONDUC.INICIAL	CONDUC.FINAL
LUNES 04/03	mañana	M-40	7.52	7.72	124.5	94.6	30.8	28.6	982.5	935.2
		M-70	7.52	7.48	124.5	47.5	30.8	28.8	982.5	917
		M-90	7.52	7.43	124.5	98.1	30.8	28.5	982.5	938
		M-110	7.52	7.45	124.5	108	30.8	28.6	982.5	933.4
		M-130	7.52	7.45	124.5	61.7	30.8	28.5	982.5	942
		M-150	7.52	7.35	124.5	80.5	30.8	28.4	982.5	937
	tarde	M-40	7.68	7.64	60.1	17.8	29.8	28.6	827	776.2
		M-70	7.68	7.31	60.1	13.7	29.8	28.5	827	727
		M-90	7.68	7.29	60.1	32.5	29.8	28.2	827	778.5
		M-110	7.68	7.34	60.1	32	29.8	28.4	827	790.2
		M-130	7.68	7.34	60.1	24.3	29.8	28.5	827	791.2
		M-150	7.68	7.21	60.1	33	29.8	28.3	827	777.1
MARTES 05/03	mañana	M-40	7.78	7.6	88.2	49	35.2	29.7	978.2	768.2
		M-70	7.78	7.55	88.2	31.9	35.2	29.7	978.2	764.7
		M-90	7.78	7.44	88.2	52.8	35.2	29.6	978.2	757.4
		M-110	7.78	7.41	88.2	45.4	35.2	29.5	978.2	773.2
		M-130	7.78	7.29	88.2	40.8	35.2	30.2	978.2	789.3
		M-150	7.78	7.29	88.2	30	35.2	29.9	978.2	753
	tarde	M-40	7.65	7.63	50.8	15.1	27.3	28.3	816.5	711.8
		M-70	7.65	7.51	50.8	9.3	27.3	28.7	816.5	687.2
		M-90	7.65	7.54	50.8	17.4	27.3	28.9	816.5	741.7
		M-110	7.65	7.56	50.8	16.2	27.3	29.1	816.5	704.8
		M-130	7.65	7.6	50.8	18	27.3	30.1	816.5	764.3
		M-150	7.65	7.59	50.8	11.2	27.3	28.7	816.5	760.2
MIERCOLES 06/03	mañana	M-40	7.63	7.2	55.5	20.7	28.6	28.7	982.2	900
		M-70	7.63	7.35	55.5	27.6	28.6	27.7	982.2	962
		M-90	7.63	7.32	55.5	32.6	28.6	27.9	982.2	970
		M-110	7.63	7.4	55.5	20.9	28.6	28.1	982.2	970
		M-130	7.63	7.17	55.5	11.3	28.6	28.3	982.2	899

		M-150	7.63	7.01	55.5	38.5	28.6	28.4	982.2	940
	tarde	M-40	7.51	7.02	50.3	10.6	28.4	27.1	975	940.8
		M-70	7.51	7.11	50.3	17.2	28.4	26.4	975	943.1
		M-90	7.51	7.14	50.3	15.4	28.4	27.5	975	951.6
		M-110	7.51	7.19	50.3	18.1	28.4	27.2	975	952.7
		M-130	7.51	7.21	50.3	19.4	28.4	27.6	975	955.8
		M-150	7.51	6.98	50.3	17.6	28.4	27.5	975	951.4
JUEVES 07/03	mañana	M-40	7.51	7.68	79.1	35.3	28.4	29.4	976.5	966.8
		M-70	7.5	7.59	79.1	23	28.3	29.4	976.5	905
		M-90	7.46	7.44	79.1	32.3	28.5	29.1	976.5	909.8
		M-110	7.48	7.33	79.1	21.7	28.5	28.9	976.5	902
		M-130	7.5	7.33	79.1	36.5	28.2	29.2	976.5	915.1
		M-150	7.54	7.25	79.1	38.3	28.1	29.1	976.5	903.1
	tarde	M-40	7.46	7.64	54.3	19	28.5	27.1	974	934.2
		M-70	7.46	7.34	54.3	9.8	28.5	27.5	974	907.5
		M-90	7.46	7.36	54.3	24.3	28.5	27.2	974	912.1
		M-110	7.46	7.42	54.3	25.2	28.5	27.3	974	925.3
		M-130	7.46	7.26	54.3	19.7	28.5	26.9	974	942.1
		M-150	7.46	7.24	54.3	28.3	28.5	26	974	935.8
VIERNES 08/03	mañana	M-40	7.58	7.4	137	76.7	27.8	26.9	951.8	865
		M-70	7.58	7.49	137	87.9	27.8	26.9	951.8	947.9
		M-90	7.58	7.3	137	76	27.8	27	951.8	875.2
		M-110	7.58	7.33	137	71.7	27.8	26.9	951.8	854.7
		M-130	7.58	7.28	137	50.5	27.8	26.9	951.8	840.3
		M-150	7.58	7.22	137	54.1	27.8	26.8	951.8	867.4
	tarde	M-40	7.54	7.42	56.2	20.5	28.1	27.4	789	721.8
		M-70	7.54	7.45	56.2	20.8	28.1	27.3	789	714.5
		M-90	7.54	7.38	56.2	21.2	28.1	28	789	726.3
		M-110	7.54	7.41	56.2	21.3	28.1	27.4	789	724.5
		M-130	7.54	7.39	56.2	12.3	28.1	27.3	789	708.6
		M-150	7.54	7.13	56.2	19	28.1	27.5	789	721.2

MARTES 12/03	mañana	M-40	7.59	7.42	98.7	48.3	28.3	27.1	945	845.2
		M-70	7.59	7.45	98.7	40.4	28.3	26.5	945	825.4
		M-90	7.59	7.36	98.7	49.5	28.3	26.8	945	851.4
		M-110	7.59	7.28	98.7	50.1	28.3	27.3	945	836.2
		M-130	7.59	7.32	98.7	42.7	28.3	27.8	945	843.6
		M-150	7.59	7.18	98.7	49.2	28.3	28.4	945	848.6
	tarde	M-40	7.54	7.77	50.6	14.5	27.3	29.8	1027	868.6
		M-70	7.54	7.69	50.6	11.2	27.3	29.6	1027	856.7
		M-90	7.54	7.63	50.6	18.5	27.3	29.5	1027	876.6
		M-110	7.54	7.68	50.6	15.6	27.3	29.5	1027	873.5
		M-130	7.54	7.65	50.6	14.7	27.3	29.4	1027	875.7
		M-150	7.54	7.65	50.6	14.6	27.3	29.5	1027	887.4
JUEVES 14/03	mañana	M-40	7.61	7.45	98.6	60.2	28.2	28.1	951	845.6
		M-70	7.61	7.51	98.6	30.1	28.2	27.9	951	807.6
		M-90	7.61	7.12	98.6	57.3	28.2	27.8	951	850.4
		M-110	7.61	7.31	98.6	59.1	28.2	28.1	951	812.3
		M-130	7.61	7.35	98.6	58.9	28.2	27.5	951	846.2
		M-150	7.61	7.38	98.6	53.4	28.2	27.8	951	821.5
	tarde	M-40	7.57	7.38	60.4	14.2	27.6	26.8	961.9	851.4
		M-70	7.57	7.39	60.4	12.1	27.6	27	961.9	841.2
		M-90	7.57	7.4	60.4	14.8	27.6	26.7	961.9	872.6
		M-110	7.57	7.37	60.4	14.9	27.6	27.1	961.9	865.4
		M-130	7.57	7.25	60.4	14.6	27.6	26	961.9	861.2
		M-150	7.57	7.41	60.4	13.5	27.6	26.2	961.9	852.3
LUNES 18/03	mañana	M-40	7.58	7.4	115	66.4	27.8	26.9	951.8	878
		M-70	7.58	7.49	115	48.7	27.8	26.9	951.8	820.3
		M-90	7.58	7.3	115	66	27.8	27	951.8	855.2
		M-110	7.58	7.33	115	61.7	27.8	26.9	951.8	954.7
		M-130	7.58	7.28	115	68.3	27.8	26.9	951.8	847.9
		M-150	7.58	7.22	115	52.3	27.8	26.8	951.8	867.4
	tarde	M-40	7.45	7.3	57.3	13.5	28.1	26.4	935.6	835.6



		M-70	7.45	7.34	57.3	10.5	28.1	26.3	935.6	825.6
		M-90	7.45	7	57.3	17.2	28.1	26.8	935.6	826.1
		M-110	7.45	7.01	57.3	15.4	28.1	26.7	935.6	834.6
		M-130	7.45	6.98	57.3	14.8	28.1	26.4	935.6	845.1
		M-150	7.45	6.95	57.3	12.7	28.1	26.3	935.6	794.1
MARTES 19/03	mañana	M-40	7.35	7.41	72.5	14.5	27.8	27	825.3	724.5
		M-70	7.35	7.34	72.5	12.3	27.8	26.9	825.3	712.1
		M-90	7.35	7.48	72.5	21.3	27.8	27.4	825.3	723.1
		M-110	7.35	7.6	72.5	24.2	27.8	27.1	825.3	724.6
		M-130	7.35	7.61	72.5	25.1	27.8	27.2	825.3	725.4
	tarde	M-150	7.35	7.7	72.5	26	27.8	27.1	825.3	725.8
		M-40	7.61	7.32	40.8	14	29.1	27	964	824.5
		M-70	7.61	7.34	40.8	10	29.1	26.9	964	814.3
		M-90	7.61	7.31	40.8	27.6	29.1	26.7	964	823.6
		M-110	7.61	7.35	40.8	21.4	29.1	26.6	964	820
MIERCOLES 20/03	mañana	M-130	7.61	7.26	40.8	15	29.1	26.8	964	825
		M-150	7.61	7.18	40.8	25.7	29.1	26.8	964	835.8
		M-40	7.33	7.23	74.8	14.1	28.2	27.5	1017	845.7
		M-70	7.33	6.95	74.8	12.3	28.2	27.3	1017	724.5
		M-90	7.33	7.24	74.8	13.4	28.2	27.7	1017	834.5
	tarde	M-110	7.33	7.26	74.8	14.1	28.2	27.6	1017	836.4
		M-130	7.33	7.3	74.8	14.5	28.2	28	1017	834.1
		M-150	7.33	7.27	74.8	14.7	28.2	27.8	1017	845.1
		M-40	7.61	7.42	52.6	16.3	27.9	27.8	931.2	787.2
		M-70	7.61	7.31	52.6	10.2	27.9	28	931.2	767.8
JUEVES 21/03	mañana	M-90	7.61	7.34	52.6	15	27.9	28.2	931.2	787
		M-110	7.61	7.37	52.6	12.2	27.9	28.4	931.2	776.6
		M-130	7.61	7.43	52.6	14	27.9	28.1	931.2	778.5
		M-150	7.61	7.42	52.6	18	27.9	28.2	931.2	798.5
		M-40	7.56	7.21	103.2	12.4	28.2	27.5	1025	802.3
		M-70	7.56	6.98	103.2	8.67	28.2	27.4	1025	800.1

		M-90	7.56	7.34	103.2	21.5	28.2	28	1025	845.6
		M-110	7.56	7.24	103.2	23.4	28.2	28.5	1025	851.2
		M-130	7.56	7.36	103.2	20.4	28.2	28	1025	846.7
		M-150	7.56	7.4	103.2	21.8	28.2	27.4	1025	849.5
		M-40	7.57	7.62	87.2	10.5	28.5	29	961.7	768.5
		M-70	7.57	7.38	87.2	9.69	28.5	29.5	961.7	767.5
		M-90	7.57	7.32	87.2	17.1	28.5	29.7	961.7	777.1
		M-110	7.57	7.31	87.2	29.3	28.5	29.7	961.7	785.6
		M-130	7.57	7.26	87.2	35.4	28.5	29.3	961.7	784.4
	tarde	M-150	7.57	7.16	87.2	35	28.5	28.1	961.7	780
		M-40	7.55	7.21	58.9	11.5	28.4	27.2	886.9	701.4
		M-70	7.55	7.12	58.9	10.2	28.4	27.6	886.9	648.9
		M-90	7.55	7.11	58.9	12.7	28.4	27.1	886.9	732.4
		M-110	7.55	7.14	58.9	10.6	28.4	27.5	886.9	745.9
		M-130	7.55	6.98	58.9	11.6	28.4	27.6	886.9	731.8
	mañana	M-150	7.55	7	58.9	15.9	28.4	27	886.9	714.3
		M-40	7.59	7.43	64.3	14.5	29.3	29	975	758.5
		M-70	7.59	7.27	64.3	12.1	29.3	29.5	975	757.5
		M-90	7.59	7.24	64.3	17.1	29.3	29.7	975	767.1
		M-110	7.59	7.25	64.3	29.3	29.3	29.7	975	775.6
		M-130	7.59	7.11	64.3	30	29.3	29.3	975	774.4
VIERNES 22/03	tarde	M-150	7.59	7.05	64.3	17	29.3	28.1	975	780.1

**ANEXO 2. Registro de datos de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua empleando el coagulante *Opuntia ficus-indica***

DIAS	CORRIDAS	DOSIS	pH inicial	pH final	Turb. Inicial	Turb.final	Temp. Inicial	Temp.final	Conduc.inicial	Conduc.final
LUNES 04/02	mañana	M-40	7.52	7.86	124.5	108	30.8	28.3	982.5	956.4
		M-70	7.52	7.78	124.5	110	30.8	28.1	982.5	956
		M-90	7.52	7.83	124.5	112	30.8	28.2	982.5	955.2
		M-110	7.52	7.93	124.5	105	30.8	28.4	982.5	970.3
		M-130	7.52	7.81	124.5	86.8	30.8	27.8	982.5	970.2
		M-150	7.52	7.5	124.5	54.6	30.8	28.2	982.5	942.6
	tarde	M-40	7.68	7.84	60.1	38.6	29.8	28.1	827	774.6
		M-70	7.68	7.79	60.1	49.5	29.8	28.5	827	788.2
		M-90	7.68	7.81	60.1	47.5	29.8	28.4	827	786.5
		M-110	7.68	7.95	60.1	45.9	29.8	28.6	827	785.9
		M-130	7.68	7.8	60.1	47.2	29.8	26.8	827	784.7
		M-150	7.68	7.89	60.1	33.2	29.8	28.4	827	789
MARTES 05/02	mañana	M-40	7.78	7.99	88.2	49.8	35.2	30.5	978.2	938.3
		M-70	7.78	8.08	88.2	48	35.2	31.1	978.2	923.9
		M-90	7.78	7.82	88.2	61	35.2	30.1	978.2	944.4
		M-110	7.78	7.79	88.2	61	35.2	30.4	978.2	933.7
		M-130	7.78	7.9	88.2	61.1	35.2	30.1	978.2	949.3
		M-150	7.78	7.98	88.2	48.1	35.2	30.3	978.2	937
	tarde	M-40	7.65	7.83	50.8	30.1	27.3	28.6	816.5	805.6
		M-70	7.65	7.87	50.8	32.7	27.3	26.8	816.5	815.4
		M-90	7.65	7.91	50.8	33.9	27.3	28.4	816.5	809.6
		M-110	7.65	7.89	50.8	34.8	27.3	28	816.5	810.5
		M-130	7.65	8	50.8	35.7	27.3	26.9	816.5	814.9

		M-150	7.65	7.95	50.8	24.9	27.3	27.9	816.5	789.6
MIERCOLES 06/02	mañana	M-40	7.63	7.86	55.5	31	28.6	29.3	982.2	915.2
		M-70	7.63	7.84	55.5	37.7	28.6	29.1	982.2	951.9
		M-90	7.63	7.84	55.5	38.8	28.6	27.1	982.2	934
		M-110	7.63	7.88	55.5	39.8	28.6	27.8	982.2	931.2
		M-130	7.63	7.89	55.5	35.2	28.6	27.3	982.2	921.4
	M-150	7.63	7.85	55.5	36.8	28.6	27.5	982.2	949.2	
	tarde	M-40	7.51	7.75	50.3	25.6	28.4	29.9	975	934.2
		M-70	7.51	7.78	50.3	38.9	28.4	29.4	975	935.8
		M-90	7.51	7.79	50.3	38.6	28.4	29.5	975	938.1
		M-110	7.51	7.64	50.3	38.5	28.4	29.1	975	938.5
M-130		7.51	7.78	50.3	38.9	28.4	29.3	975	938.4	
M-150	7.51	7.77	50.3	38.7	28.4	27.1	975	938.7		
JUEVES 07/02	mañana	M-40	7.51	7.81	79.1	58.9	28.4	28.4	976.5	931.7
		M-70	7.5	7.86	79.1	52.8	28.3	28.9	976.5	949.1
		M-90	7.46	7.84	79.1	58.9	28.5	29.1	976.5	957
		M-110	7.48	7.85	79.1	69.4	28.5	28.9	976.5	967.2
		M-130	7.5	7.86	79.1	70.4	28.2	28.5	976.5	982.3
	M-150	7.54	7.93	79.1	32.1	28.1	28.8	976.5	942.2	
	tarde	M-40	7.46	7.53	54.3	42.3	28.5	27.4	974	826.5
		M-70	7.46	7.58	54.3	40.5	28.5	27.5	974	834.2
		M-90	7.46	7.59	54.3	40.9	28.5	27.9	974	831.9
		M-110	7.46	7.58	54.3	41.2	28.5	27.6	974	831.4
M-130		7.46	7.54	54.3	40.7	28.5	27.9	974	831.7	
M-150	7.46	7.57	54.3	38.1	28.5	27.3	974	823.6		
VIERNES 08/02	mañana	M-40	7.58	7.8	137	78.9	27.8	27.5	951.8	909.3
		M-70	7.58	7.76	137	107	27.8	27.5	951.8	910.5
		M-90	7.58	7.8	137	104	27.8	27.3	951.8	910.9
		M-110	7.58	7.83	137	100	27.8	27.5	951.8	927

		M-130	7.58	7.75	137	121	27.8	27.4	951.8	917.5
		M-150	7.58	7.71	137	109	27.8	27.3	951.8	911
	tarde	M-40	7.54	7.64	56.2	26.1	28.1	27	789	756.5
		M-70	7.54	7.67	56.2	27.9	28.1	27.1	789	781.5
		M-90	7.54	7.8	56.2	27.6	28.1	26.9	789	780.6
		M-110	7.54	7.78	56.2	27.6	28.1	27.4	789	782.6
		M-130	7.54	7.75	56.2	27.8	28.1	27.9	789	781.4
		M-150	7.54	7.78	56.2	28	28.1	26.8	789	784.2
			M-40	7.59	7.7	98.7	47.6	28.3	27.3	945
	mañana	M-70	7.59	7.68	98.7	48.9	28.3	27	945	896.5
		M-90	7.59	7.71	98.7	50.6	28.3	26.3	945	896.4
		M-110	7.59	7.81	98.7	50.3	28.3	27.5	945	892.3
		M-130	7.59	7.77	98.7	50.1	28.3	27.8	945	895.6
		M-150	7.59	7.81	98.7	50.7	28.3	26.4	945	897.5
		tarde	M-40	7.54	7.64	50.6	24.3	27.3	26.5	1027
	M-70		7.54	7.68	50.6	27.3	27.3	26.4	1027	905.4
	M-90		7.54	7.64	50.6	28.6	27.3	26.4	1027	904.6
	M-110		7.54	7.65	50.6	29.5	27.3	26.7	1027	907.8
	M-130		7.54	7.65	50.6	30.5	27.3	26.1	1027	912.8
	M-150		7.54	7.64	50.6	30.4	27.3	26.2	1027	907.4
	mañana	M-40	7.61	7.75	98.6	45.2	28.2	29.1	951	815.6
		M-70	7.61	7.75	98.6	50.3	28.2	28.7	951	824.6
		M-90	7.61	7.74	98.6	52.6	28.2	28.67	951	826.9
		M-110	7.61	7.76	98.6	54.9	28.2	28.34	951	836.9
		M-130	7.61	7.81	98.6	54.7	28.2	28.64	951	831.7
		M-150	7.61	7.82	98.6	51.3	28.2	28.69	951	836.5
	tarde	M-40	7.57	7.8	60.4	32.7	27.6	26.5	961.9	801
		M-70	7.57	7.74	60.4	37.9	27.6	26.5	961.9	810.5
		M-90	7.57	7.78	60.4	37.6	27.6	26.3	961.9	810.9
MARTES 12/02										
JUEVES 14/02										

		M-110	7.57	7.82	60.4	38.1	27.6	26.5	961.9	827
		M-130	7.57	7.74	60.4	38.7	27.6	26.4	961.9	817.5
		M-150	7.57	7.78	60.4	32	27.6	26.3	961.9	809.1
LUNES 18/02	mañana	M-40	7.58	7.8	115	54.3	27.8	27.5	951.8	809.3
		M-70	7.58	7.76	115	83.4	27.8	27.5	951.8	910.5
		M-90	7.58	7.8	115	79.5	27.8	27.3	951.8	910.9
		M-110	7.58	7.83	115	100.5	27.8	27.5	951.8	927
		M-130	7.58	7.75	115	91.8	27.8	27.4	951.8	917.5
		M-150	7.58	7.71	115	85.7	27.8	27.3	951.8	911
	tarde	M-40	7.45	7.81	57.3	28.6	28.1	27.8	935.6	879.6
		M-70	7.45	7.79	57.3	29.8	28.1	27.9	935.6	880.2
		M-90	7.45	7.78	57.3	29.4	28.1	27.6	935.6	884.6
		M-110	7.45	7.84	57.3	30.4	28.1	27.9	935.6	889.5
		M-130	7.45	7.75	57.3	31.4	28.1	27.4	935.6	881.2
		M-150	7.45	7.74	57.3	28.9	28.1	27.3	935.6	887.6
MARTES 19/02	mañana	M-40	7.35	7.65	72.5	41.3	27.8	27.5	825.3	794.3
		M-70	7.35	7.6	72.5	46.5	27.8	27.5	825.3	797.4
		M-90	7.35	7.54	72.5	45.9	27.8	27.2	825.3	802.1
		M-110	7.35	7.53	72.5	43.6	27.8	27.4	825.3	800.5
		M-130	7.35	7.54	72.5	45.8	27.8	27.4	825.3	803.8
		M-150	7.35	7.53	72.5	46.3	27.8	27.2	825.3	794.9
	tarde	M-40	7.61	7.82	40.8	29.8	29.1	31.3	964	823.2
		M-70	7.61	7.78	40.8	33.7	29.1	29.7	964	835.3
		M-90	7.61	7.79	40.8	37.4	29.1	29.4	964	863.1
		M-110	7.61	7.76	40.8	36.1	29.1	29.9	964	837.5
		M-130	7.61	7.78	40.8	34.2	29.1	29.8	964	878.9
		M-150	7.61	7.79	40.8	29.9	29.1	29.5	964	859.1
MIERCOLES 20/02	mañana	M-40	7.33	7.52	74.8	36.2	28.2	29.3	1017	814.3
		M-70	7.33	7.48	74.8	37.1	28.2	28.8	1017	821.6

		M-90	7.33	7.49	74.8	38.5	28.2	28.9	1017	839.5	
		M-110	7.33	7.5	74.8	38.6	28.2	28.8	1017	836.4	
		M-130	7.33	7.51	74.8	49.1	28.2	28.7	1017	837.6	
		M-150	7.33	7.47	74.8	48.7	28.2	29.1	1017	837.5	
	tarde	M-40	7.61	7.94	52.6	24.7	27.9	28.6	931.2	703.7	
		M-70	7.61	7.81	52.6	33.5	27.9	28.3	931.2	846.5	
		M-90	7.61	7.9	52.6	37.8	27.9	28.9	931.2	835.6	
		M-110	7.61	7.82	52.6	35.4	27.9	28.3	931.2	849.5	
		M-130	7.61	7.86	52.6	36.1	27.9	28.5	931.2	847.2	
		M-150	7.61	7.82	52.6	32.4	27.9	27	931.2	841	
	JUEVES 21/02	mañana	M-40	7.56	7.78	103.2	48.3	28.2	29.5	1025	812.4
			M-70	7.56	7.68	103.2	63.7	28.2	28.5	1025	820.1
			M-90	7.56	7.77	103.2	69.8	28.2	28.3	1025	821.5
			M-110	7.56	7.79	103.2	70.1	28.2	28.5	1025	927
M-130			7.56	7.75	103.2	61.7	28.2	28.2	1025	822.6	
M-150			7.56	7.72	103.2	65.7	28.2	28.1	1025	826.5	
tarde		M-40	7.57	7.78	87.2	40.2	28.5	29.7	961.7	809	
		M-70	7.57	7.67	87.2	43.4	28.5	28.6	961.7	820.5	
		M-90	7.57	7.78	87.2	50.5	28.5	28.7	961.7	831.9	
		M-110	7.57	7.81	87.2	50.5	28.5	28.9	961.7	817.4	
		M-130	7.57	7.73	87.2	51.8	28.5	28.7	961.7	817.8	
		M-150	7.57	7.74	87.2	55.7	28.5	28.5	961.7	821	
VIERNES 22/02		mañana	M-40	7.55	7.79	58.9	26	28.4	28.2	886.9	828.4
			M-70	7.55	7.76	58.9	26.2	28.4	28.3	886.9	837.8
	M-90		7.55	7.78	58.9	38.9	28.4	28.4	886.9	838.4	
	M-110		7.55	7.76	58.9	40	28.4	28.4	886.9	845.5	
	M-130		7.55	7.78	58.9	37	28.4	28.3	886.9	852.3	
	M-150		7.55	7.82	58.9	28.2	28.4	28.4	886.9	849	
	tarde	M-40	7.59	7.86	64.3	30.1	29.3	30.1	975	933.1	

		M-70	7.59	7.82	64.3	32.3	29.3	29.8	975	935.4
		M-90	7.59	7.8	64.3	34.2	29.3	29.6	975	933.2
		M-110	7.59	7.85	64.3	36.5	29.3	29.8	975	937.2
		M-130	7.59	7.86	64.3	37.1	29.3	29.6	975	938.4
		M-150	7.59	7.85	64.3	37.9	29.3	29.4	975	939.1

**ANEXO 3: Registro de datos de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua empleando el coagulante *Caesalpinia spinosa***

	CORRIDAS	DOSIS	pH inicial	pH final	Turb. Inicial	Turb.final	Temp. Inicial	Temp.final	Conduc.inicial	Conduc.final
LUNES 04/02	mañana	M-40	7.52	7.7	124.5	70	30.8	28.8	982.5	928.7
		M-70	7.52	7.74	124.5	72	30.8	27.8	982.5	941
		M-90	7.52	7.69	124.5	75.7	30.8	28.2	982.5	952
		M-110	7.52	7.68	124.5	83	30.8	28.4	982.5	937
		M-130	7.52	7.53	124.5	94.3	30.8	28.5	982.5	956.3
	M-150	7.52	7.58	124.5	92	30.8	28.4	982.5	932.6	
	tarde	M-40	7.68	7.72	60.1	41.3	29.8	27.2	827	707.3
		M-70	7.68	7.68	60.1	48.2	29.8	27.6	827	758.2
		M-90	7.68	7.67	60.1	49.6	29.8	28.7	827	742
		M-110	7.68	7.69	60.1	47.6	29.8	28.9	827	717.2
M-130		7.68	7.7	60.1	49.7	29.8	28.4	827	727.4	
M-150	7.68	7.62	60.1	48.7	29.8	28.3	827	731.7		
MARTES 05/02	mañana	M-40	7.78	7.8	88.2	50.3	35.2	28.5	978.2	936.6
		M-70	7.78	7.8	88.2	55.4	35.2	28.9	978.2	945.4
		M-90	7.78	7.75	88.2	54.6	35.2	29	978.2	963.4
		M-110	7.78	7.76	88.2	56.5	35.2	29	978.2	953.6
		M-130	7.78	7.71	88.2	53.7	35.2	29	978.2	946.3



		M-150	7.78	7.76	88.2	56.8	35.2	29.11	978.2	954.4
	tarde	M-40	7.65	7.45	50.8	34.5	27.3	26.9	816.5	700.1
		M-70	7.65	7.38	50.8	37.8	27.3	27.1	816.5	712.1
		M-90	7.65	7.46	50.8	37.1	27.3	27	816.5	731.8
		M-110	7.65	7.25	50.8	35.6	27.3	26.95	816.5	715.6
		M-130	7.65	6.98	50.8	34.9	27.3	27.2	816.5	710.8
		M-150	7.65	7.14	50.8	38.6	27.3	27.3	816.5	709.8
MIERCOLES 06/02	mañana	M-40	7.63	7.92	55.5	32	28.6	27.3	982.2	952.4
		M-70	7.63	7.88	55.5	49	28.6	27	982.2	958.6
		M-90	7.63	7.93	55.5	48.5	28.6	27.3	982.2	969.8
		M-110	7.63	8.04	55.5	47.2	28.6	27	982.2	981.1
		M-130	7.63	7.96	55.5	43.5	28.6	27	982.2	957.2
		M-150	7.63	7.92	55.5	45.32	28.6	26.8	982.2	971.6
	tarde	M-40	7.51	7.63	50.3	25.4	28.4	28	975	745.6
		M-70	7.51	6.98	50.3	29.8	28.4	27.4	975	826.7
		M-90	7.51	6.37	50.3	34.6	28.4	28.1	975	836.8
		M-110	7.51	6.84	50.3	35.7	28.4	27.6	975	841.4
		M-130	7.51	6.85	50.3	30.1	28.4	27.5	975	831.2
		M-150	7.51	6.89	50.3	39.8	28.4	27.8	975	786.5
JUEVES 07/02	mañana	M-40	7.51	6.84	79.1	46	28.4	27.5	976.5	736.3
		M-70	7.5	6.84	79.1	64.9	28.3	28.1	976.5	845.3
		M-90	7.46	6.91	79.1	60.6	28.5	27.6	976.5	737.4
		M-110	7.48	7.13	79.1	64.6	28.5	28.4	976.5	756.9
		M-130	7.5	7.25	79.1	64.5	28.2	27.6	976.5	868.3
		M-150	7.54	7.21	79.1	61.6	28.1	27	976.5	865.2
	tarde	M-40	7.46	7.36	54.3	38	28.5	27.4	974	756.7
		M-70	7.46	7.5	54.3	50.8	28.5	27.5	974	780.3
		M-90	7.46	7.14	54.3	51.4	28.5	28.1	974	768.3
		M-110	7.46	7.19	54.3	46.4	28.5	27.8	974	743.1
		M-130	7.46	7.21	54.3	45.6	28.5	27.9	974	736.9
		M-150	7.46	7.45	54.3	49	28.5	28	974	761.3

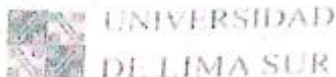
VIERNES 08/02	mañana	M-40	7.58	7.62	137	80.5	27.8	27.9	951.8	746.3
		M-70	7.58	6.95	137	84.3	27.8	27.4	951.8	832.1
		M-90	7.58	6.31	137	87.1	27.8	27	951.8	821.6
		M-110	7.58	6.84	137	80.7	27.8	27.3	951.8	812.2
		M-130	7.58	6.56	137	81.4	27.8	28	951.8	756.3
		M-150	7.58	7.14	137	63.2	27.8	28.1	951.8	739.2
	tarde	M-40	7.54	7.25	56.2	38	28.1	28	789	765.3
		M-70	7.54	7.34	56.2	38.2	28.1	27.5	789	756.8
		M-90	7.54	7.65	56.2	36.2	28.1	28.1	789	754.2
		M-110	7.54	7.95	56.2	30.4	28.1	27.6	789	739.1
		M-130	7.54	7.5	56.2	33.2	28.1	27.9	789	749.2
		M-150	7.54	7.34	56.2	35.1	28.1	28.2	789	750.1
MARTES 12/02	mañana	M-40	7.59	7.26	98.7	58	28.3	27.8	945	716.3
		M-70	7.59	6.98	98.7	73.1	28.3	28.1	945	749.2
		M-90	7.59	6.95	98.7	75.4	28.3	27.6	945	721.8
		M-110	7.59	6.94	98.7	80	28.3	27.7	945	734.6
		M-130	7.59	7.16	98.7	70.4	28.3	28	945	746.2
		M-150	7.59	6.90	98.7	64.2	28.3	27.5	945	720.1
	tarde	M-40	7.54	7.21	50.6	34	27.3	28.1	1027	845.2
		M-70	7.54	7.68	50.6	42.1	27.3	28.2	1027	831.5
		M-90	7.54	7.65	50.6	37.2	27.3	27.6	1027	743.1
		M-110	7.54	7.64	50.6	36.4	27.3	27.5	1027	800.5
		M-130	7.54	7.58	50.6	35.1	27.3	28	1027	746.3
		M-150	7.54	7.69	50.6	38	27.3	28.1	1027	760.4
JUEVES 14/02	mañana	M-40	7.61	7.45	98.6	43.6	28.2	28.7	951	830.2
		M-70	7.61	7.64	98.6	56.5	28.2	28.5	951	837.1
		M-90	7.61	7.21	98.6	56.8	28.2	29	951	832.7
		M-110	7.61	7.12	98.6	55.3	28.2	28.1	951	846.6
		M-130	7.61	7.16	98.6	48.1	28.2	29.2	951	830.5
		M-150	7.61	7.14	98.6	51.2	28.2	28.3	951	845.3
	tarde	M-40	7.57	7.39	60.4	31.5	27.6	28.5	961.9	860.2

		M-70	7.57	7.65	60.4	30.3	27.6	27.5	961.9	858.3
		M-90	7.57	7.54	60.4	29.7	27.6	28.1	961.9	836.3
		M-110	7.57	7.64	60.4	35.1	27.6	28.6	961.9	850.8
		M-130	7.57	6.98	60.4	30.2	27.6	27.9	961.9	840.2
		M-150	7.57	7.41	60.4	32.3	27.6	28	961.9	847.1
LUNES 18/02	mañana	M-40	7.58	7.31	115	66	27.8	28	951.8	802.4
		M-70	7.58	7.15	115	80.1	27.8	27.5	951.8	921.5
		M-90	7.58	6.98	115	83.4	27.8	27.6	951.8	831.3
		M-110	7.58	6.97	115	78.4	27.8	27.7	951.8	845.3
		M-130	7.58	7.24	115	79.4	27.8	28.1	951.8	924.2
	tarde	M-150	7.58	7.36	115	80.3	27.8	28.4	951.8	930.5
		M-40	7.45	7.54	57.3	37.4	28.1	28	935.6	770.4
		M-70	7.45	7.65	57.3	38.2	28.1	27.9	935.6	774.3
		M-90	7.45	6.98	57.3	36.1	28.1	27	935.6	765.3
		M-110	7.45	6.98	57.3	38.5	28.1	27.4	935.6	780.3
MARTES 19/02	mañana	M-130	7.45	6.87	57.3	39.8	28.1	27.5	935.6	782.1
		M-150	7.45	6.98	57.3	40.1	28.1	27.3	935.6	784.4
		M-40	7.35	7.65	72.5	41	27.8	28.8	825.3	769.9
		M-70	7.35	7.63	72.5	46.4	27.8	28.9	825.3	778.4
		M-90	7.35	7.63	72.5	53.5	27.8	28.8	825.3	784.2
	tarde	M-110	7.35	7.63	72.5	50.2	27.8	28.7	825.3	781.5
		M-130	7.35	7.6	72.5	52.3	27.8	28.7	825.3	783.1
		M-150	7.35	7.56	72.5	51	27.8	28.5	825.3	788
		M-40	7.61	7.26	40.8	28	29.1	28	964	871.2
		M-70	7.61	7.28	40.8	37.4	29.1	27.5	964	876.1
MIERCOLES 20/02	mañana	M-90	7.61	7.34	40.8	38.1	29.1	27.8	964	880.3
		M-110	7.61	7.68	40.8	35.4	29.1	28.1	964	887.2
		M-130	7.61	7.46	40.8	29.4	29.1	28.2	964	856.1
		M-150	7.61	6.98	40.8	30	29.1	28.1	964	862.5
		M-40	7.33	7.12	74.8	44	28.2	28	1017	830.3
		M-70	7.33	7.63	74.8	61.3	28.2	27.5	1017	867.3

		M-90	7.33	7.89	74.8	60.2	28.2	28.4	1017	831.5
		M-110	7.33	7.96	74.8	68.5	28.2	28.3	1017	870.4
		M-130	7.33	7.94	74.8	69.3	28.2	27.8	1017	871.3
		M-150	7.33	6.98	74.8	60.4	28.2	27.9	1017	874.2
		M-40	7.61	6.94	52.6	31	27.9	27.3	931.2	723.6
		M-70	7.61	6.37	52.6	49.6	27.9	27.5	931.2	715.8
		M-90	7.61	7.16	52.6	40.7	27.9	26.7	931.2	718.3
		M-110	7.61	7.12	52.6	42.9	27.9	26.4	931.2	702.5
		M-130	7.61	7.34	52.6	30.2	27.9	27	931.2	645.2
	tarde	M-150	7.61	7.94	52.6	36.9	27.9	26.9	931.2	731.9
		M-40	7.56	7.94	103.2	60	28.2	27.5	1025	830.3
		M-70	7.56	6.95	103.2	84.6	28.2	27.8	1025	832.9
		M-90	7.56	6.98	103.2	86.9	28.2	27.4	1025	837.2
		M-110	7.56	6.99	103.2	87.5	28.2	26.9	1025	845.3
		M-130	7.56	7.1	103.2	70.5	28.2	27	1025	846.8
	mañana	M-150	7.56	7.12	103.2	80.6	28.2	26.8	1025	840.4
		M-40	7.57	7.6	87.2	46.9	28.5	26.7	961.7	750.4
		M-70	7.57	7.64	87.2	58.6	28.5	26.8	961.7	765.2
		M-90	7.57	7.64	87.2	57.2	28.5	27.3	961.7	756.8
		M-110	7.57	7.54	87.2	50.1	28.5	27	961.7	758.3
		M-130	7.57	7.16	87.2	46.9	28.5	27.1	961.7	760.3
	tarde	M-150	7.57	7.54	87.2	57.1	28.5	27.8	961.7	754.1
JUEVES 21/02		M-40	7.55	7.34	58.9	34	28.4	28	886.9	700.6
		M-70	7.55	7.28	58.9	46.9	28.4	26.7	886.9	725.8
		M-90	7.55	7.14	58.9	49.2	28.4	26.8	886.9	730.2
		M-110	7.55	7.17	58.9	40.2	28.4	27.9	886.9	726.7
		M-130	7.55	7.31	58.9	34.5	28.4	28.2	886.9	701.2
	mañana	M-150	7.55	7.41	58.9	40.5	28.4	27.5	886.9	735.2
		M-40	7.59	7.7	64.3	40.4	29.3	27.8	975	775.4
		M-70	7.59	7.66	64.3	47.6	29.3	27.7	975	791
	tarde	M-90	7.59	7.64	64.3	44.2	29.3	27.7	975	782.5
VIERNES 22/02										

	M-110	7.59	7.67	64.3	42.5	29.3	28	975	781.7
	M-130	7.59	7.69	64.3	43	29.3	28.1	975	781.9
	M-150	7.59	7.68	64.3	42.6	29.3	28.2	975	790.3

## ANEXO 4: Constancia de prácticas emitido por la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS)



### **CONSTANCIA PRÁCTICAS PROFESIONALES**

*EL RESPONSABLE DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL, DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR (UNTELS), QUIEN SUSCRIBE;*

**HACE CONSTAR:**

*Que, VARGAS VILCHEZ MAYRA ALEJANDRA, identificada con DNI N° 77075906,  
EGRESADA de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, con Código Universitario N°  
2014200231, realiza sus prácticas profesionales desde el 01 de agosto del 2018 hasta el 22  
de marzo del 2019, en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y  
Residuos peligrosos – CITRAR, en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE  
INGENIERIA AMBIENTAL.*

*Asimismo, ha cumplido con los requisitos y procedimientos establecidos en el Reglamento  
de la Oficina General de Tutoría Universitaria y Práctica Pre Profesional 2013 - UNTECS,  
desarrollando sus actividades asignadas, el cual ha sido verificado por un docente Tutor  
Laboral.*

*Se otorga la presente constancia para los fines que el interesado estime por conveniente.*

*Villa El Salvador, 09 de mayo de 2019*



**ING. MAG. DR. GUILLERMO VILCHEZ OCHOA**  
Responsable de la Escuela Profesional de Ingeniería  
Ambiental  
EIA

C.P.P. EIA N° 085-2019

## ANEXO 5: Constancia de prácticas emitido por la Universidad Nacional de Ingeniería – CITRAR (UNI)



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
INGENIERÍA



CITRAR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
Centro de Investigación en Tratamiento de  
Aguas Residuales y Residuos Peligrosos

Constancia  
N° 07- 2019

### CONSTANCIA

Quien suscribe, Director del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos CITRAR FIA – UNI de la Universidad Nacional de Ingeniería, deja constancia que la señorita:

#### VARGAS VILCHEZ, MAYRA ALEJANDRA

Con DNI N° 77075906, realizó sus prácticas pre profesionales en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos CITRAR FIA – UNI de la Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú), desde el 01 de agosto del 2018 al 22 de marzo del 2019 con un total de 480 horas.

La señorita, Vargas Vilchez, Mayra Alejandra, se desempeñó con eficiencia y puntualidad, cumpliendo las siguientes labores:

- Monitoreo de los principales parámetros operacionales de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.
- Participación como guía en las diversas visitas realizadas en CITRAR FIA – UNI.
- Elaboración de los informes de monitoreo mensuales de la Planta de Tratamiento.
- Desarrolló el proyecto de investigación: "Determinación de la cantidad de sólidos removidos en la unidad del Desarenafor del CITRAR"
- Desarrolló el proyecto de investigación: "Comparación de reducción de turbiedad utilizando 3 tipos de coagulantes en aguas del efluente UASB Tanque Séptico del CITRAR"

Se expide la presente a solicitud para los fines que la señorita estime pertinente.

Lima, 29 de marzo del 2019.



Ing. Yon Cecilia Cabrera  
DIRECTOR CITRAR FIA – UNI

Av. Túpac Amaru N°210 Rimac - Puerta N° 07  
✉: Citrar@uni.edu.pe



**ANEXO 6: Autorización para el ingreso al laboratorio de ingeniería ambiental  
– FIA - UNI**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
CENTRO DE INVESTIGACION EN TRATAMIENTO DE AGUA  
RESIDUAL Y RESIDUOS PELIGROSOS  
**CITRAR-FIA-UNI**

**CARGO**

**OFICIO N° 046-2019- CITRAR-FIA-UNI**

Lima, 26 de febrero del 2019

Señor Ing.  
Arturo Zapata Payco  
Jefe Laboratorio de Investigación del Agua  
Facultad de Ingeniería Ambiental  
Presente.-

Asunto: Solicita autorización ingreso al LIA-FIA

De mi consideración :

Me es grato dirigirme a Ud., para saludarle cordialmente y solicitar autorización para el ingreso a la Srta. Brigadista - Mayra Vargas Vilchez quien esta ejecutando su proyecto "REDUCCIÓN DE TURBIEDAD, UTILIZANDO 3 TIPOS DE COAGULANTES DEL EFLUENTES DEL TANQUE SEPTICO" quien realizara el análisis de DBO por lo que solicitamos se sirva autorizar el préstamo de frascos winkler (21) a partir del 26 de febrero año 22 de marzo del 2019 en el horario 9:00 a 13:00 y 14:00 a 17:00 horas.

Sin otro particular, me despido de usted.

Atentamente,

  
Ing. Yon-Cecilia Cabrera  
Director CITRAR-FIA-UNI

  
*Delis  
26.02.19*

Cc: Arch.

YCC/luzma.  
Li.,25.02.2019

---

Av. Tupac Amaru N° 1150 – Rimac  
Pta N° 7 (Sector: T)

Teléfonos: 01-5341818  
481-1070 anexo 581  
Fax: 482-1585 anexo 104

E-mail: [citrar@uni.edu.pe](mailto:citrar@uni.edu.pe)  
[citrarfiauni@gmail.com](mailto:citrarfiauni@gmail.com)





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
CENTRO DE INVESTIGACION EN TRATAMIENTO DE AGUA  
RESIDUAL Y RESIDUOS PELIGROSOS  
**CITRAR-FIA-UNI**



**OFICIO N° 020- 2019- CITRAR-FIA-UNI**

Lima, 21 de Enero del 2019

Señor Ing.  
Arturo Zapata Payco  
Jefe Laboratorio de Investigación del Agua  
Facultad de Ingeniería Ambiental  
Presente.-

Solicita :permiso uso de ambientes LIA-FIA

De mi consideración :

Me es grato dirigirme a Ud., para saludarle cordialmente y solicitar se sirva autorizar el ingreso de los brigadistas del CITRAR los días Lunes, Miércoles y Viernes para realizar el Proyecto: **"COMPARACIÓN DE REDUCCIÓN DE TURBIDAD UTILIZANDO 3 TIPOS DE COAGULANTES EN AGUAS DEL AFLUENTE UASB TANQUE SÉPTICO DEL CITRAR", (PRUEBA DE JARRAS)** en el horario de 9:00 a 17:00 , según relación: Vargas Vilchez Mayra,.

Sin otro particular, me despido de usted.

Atentamente,

  
Ing. Yon Cecilio Cabrera  
Director CITRAR-FIA-UNI

/uzma  
Lima, 21.01.2019

  
Lima 25-1-19.

Av. Tupac Amaru N° 1150 – Rimac  
Pta N° 7 (Sector: T)

Teléfonos: 01-5341818  
481-1070 anexo 581  
Fax: 482-1585 anexo 104

E-mail: [citrar@uni.edu.pe](mailto:citrar@uni.edu.pe)  
[citrarfiauni@gmail.com](mailto:citrarfiauni@gmail.com)

**ANEXO 7: Requisitos para Toma de Muestras de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**

Determinación/Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (1)	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
<b>Fisicoquímico</b>				
Temperatura	P,V	1000 mL	No es posible	15 min
pH (2)		50 mL	No es posible	15 min
DBO <sub>5</sub> (3)	P,V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	48 horas
DQO (3)	P,V	100 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Aceites y grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 mL	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar a 4°C	28 días
Sólidos suspendidos Totales (SST)	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	7 días
<b>Microbiológico</b>				
Coliformes termotolerantes (NMP)	V, esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4°C Agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 horas

## ANEXO 8: Instructivo del equipo HACH – sonda de conductividad

# Instrucciones para el usuario

DOC272.92.80022

**Sonda de conductividad: Modelos CDC40101, CDC40103, CDC40105, CDC40110, CDC40115, CDC40130**

### Información de seguridad

#### Indicaciones de precaución

Lea todas las etiquetas y rótulos pegados o sujetos al instrumento. De no observarlas, podrían producirse lesiones personales o daños al instrumento.



El equipo eléctrico marcado con este símbolo no puede ser desechado en los sistemas públicos europeos de desechos desde el 12 de agosto de 2005. Conforme a los reglamentos locales y nacionales europeos (directiva de la UE 2002/96/EC), los usuarios de equipos eléctricos en Europa deben devolver al productor todo equipo viejo o cuya vida útil haya terminado para que sea desechado sin cargo para el usuario.  
Nota: Para devolver equipos para su reciclaje, contactese con el fabricante o distribuidor para así obtener instrucciones acerca de cómo devolverlos y desecharlos correctamente. Esto se aplica a equipos que hayan alcanzado el término de su vida útil, accesorios eléctricos suministrados por el fabricante o distribuidor y todo elemento auxiliar.

### Aspectos generales

Figura 1 en la página 2 muestra la sonda de conductividad de grafito, con 4 polos, de la serie CDC401. Las sondas reforzadas de conductividad CDC40105, CDC40110, CDC40115 o CDC40130 se encuentran disponibles con un cable de medidor de 5, 10, 15 ó 30 metros. La sonda de conductividad estándar CDC40101 o CDC40103 se encuentra disponible con un cable de medidor de 1 ó 3 metros. La sonda de conductividad proporciona la medición de la conductividad eléctrica, salinidad, resistencia o sólidos disueltos totales (TDS) en aguas residuales, agua potable y aplicaciones generales.

### Especificaciones

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Especificación	Detalles
Margen de conductividad	0.01 $\mu\text{S/cm}$ a 200 $\text{mS/cm}$
Constante de celda	0,40 $\text{cm}^{-1} \pm 10\%$
Resolución de conductividad	0 a 19,99 $\mu\text{S/cm}$ : 0.01 $\mu\text{S/cm}$ 20 a 199,9 $\mu\text{S/cm}$ : 0,1 $\mu\text{S/cm}$ 200 a 1999 $\mu\text{S/cm}$ : 1 $\mu\text{S/cm}$ 2 a 19,99 $\text{mS/cm}$ : 0,01 $\text{mS/cm}$ 20 a 200 $\text{mS/cm}$ : 0,1 $\text{mS/cm}$
Precisión de conductividad	$\pm 0,5\%$ de la lectura
Margen de TDS	0 a 50.000 $\text{mg/l}$ como NaCl
Precisión de TDS	$\pm 0,5\%$ de la lectura
Resolución de TDS	0 a 19,99 $\text{mg/l}$ : 0,01 $\text{mg/l}$ 200 a 1999 $\text{mg/l}$ : 1 $\text{mg/l}$ 2 a 19,99 $\text{g/l}$ : 0,01 $\text{g/l}$ 20 a 50 $\text{g/l}$ : 0,1 $\text{g/l}$
Margen de salinidad	0 a 42 (ppm) (‰)
Precisión de salinidad	$\pm 1$ parte por mil (ppm) (‰)
Resolución de salinidad	0,01 partes por mil (ppm) (‰)
Intervalo de temperaturas	-10 a 110 $^{\circ}\text{C}$ (14 a 230 $^{\circ}\text{F}$ )
Temperatura de almacenamiento	0 a 40 $^{\circ}\text{C}$ (32 a 104 $^{\circ}\text{F}$ )

Especificación	Detalles
Precisión de temperaturas	$\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 1,09\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
Profundidad mínima de muestra	45 mm (1,77 pulgadas)
Dimensiones	Diámetro: 14 mm (0,55 pulg.), longitud: 103 mm (4,06 pulg.), longitud total: 220 mm (8,66 pulg.), longitud de cable (estándar): 1 ó 3 metros (3,28 ó 9,84 pies); longitud de cable (resistente): 5, 10, 15 ó 30 metros (16,4, 32,8, 49,2 ó 98,4 pies)
Conexión de cable	Salida digital y conector compatible con los medidores HQd
Garantía	El sensor está cubierto con una garantía de 1 año.

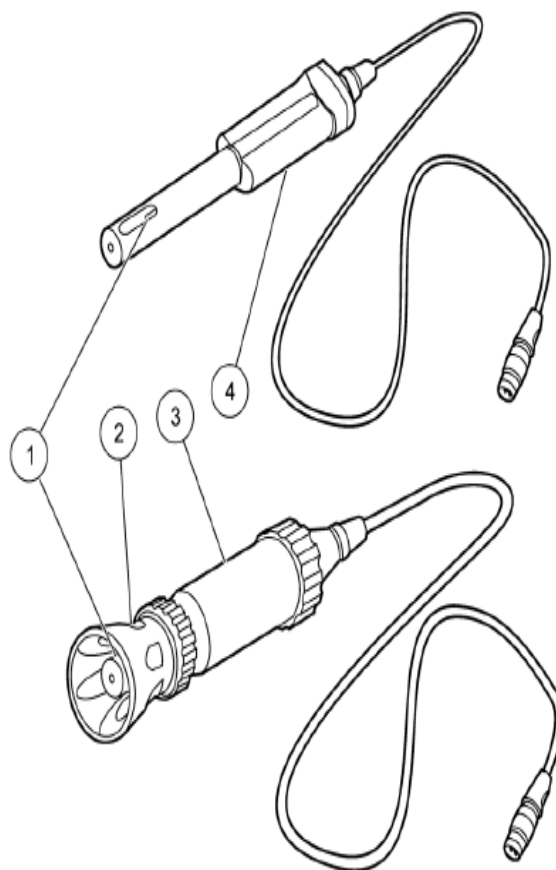


Figura 1 Aspectos generales de la sonda de conductividad

1 Sensor de temperatura y celda de conductividad con diseño en grafito de 4 polos	3 Sonda reforzada (cable de 5, 10, 15 ó 30 metros)
2 Protector (modelo reforzado)	4 Sonda estándar (cable de 1 ó 3 metros)

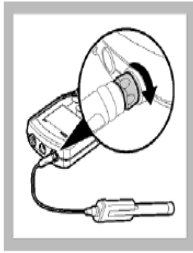
## Calibración

### Antes de la calibración:

La sonda debe tener el sello de duración de servicio correcto. <b>Ajuste la fecha y la hora del medidor antes de conectar la sonda.</b>
No es necesario volver a calibrar cuando se pasa la sonda calibrada de un medidor HQd a otro si el medidor adicional está configurado para usar las mismas opciones de calibración. Si el medidor HQd adicional utiliza opciones de calibración diferentes (por ejemplo, estándares de calibración o criterios de aceptación), calibre la sonda o cambie la configuración de método para seleccionar un método diferente.
Apriete bien la tuerca de bloqueo de la sonda cuando conecte ésta al medidor.
El medidor corregirá automáticamente la medición de la calibración a la temperatura de referencia seleccionada (20 ó 25 °C) usando el coeficiente de temperatura no lineal predeterminado basado en el NaCl. La configuración se puede cambiar en las opciones de calibración de la CDC401.
Si se conecta cualquiera de las dos sondas, pulse la flecha ARRIBA para cambiar al modo de pantalla única para mostrar la opción de Calibrar.
Utilice la solución de estándar de calibración de la pantalla de Calibración o cambie el estándar en el menú Opciones de calibración de la CDC401.
Se puede crear un método nuevo si se desea una configuración de calibración o medición personalizada.
Consulte <a href="#">Pulse SALIR hasta que el medidor vuelva al modo de medición. en la página 10</a> para ver los errores de calibración.
Agite suavemente. Evite apoyar la sonda en el fondo o los laterales del contenedor.
No diluya los estándares de conductividad y las muestras.

### Notas sobre la calibración

- Las sondas se calibran inicialmente en fábrica. No obstante, se recomienda una calibración regular por parte del usuario para lograr la máxima precisión en las mediciones.
- La calibración se registra en la sonda y el registro de datos. También se envía al PC, impresora o lápiz de memoria, si está conectado.
- La constante de celda se deriva del estándar de calibración.
- Se pueden seleccionar estándares de conductividad adicionales en el menú Opciones de calibración.
- Con las aplicaciones que requieran una precisión superior, lleve a cabo una calibración de usuario.



1. Conecte la sonda al medidor.



2. Seleccione **Calibrar**. La pantalla mostrará la solución de estándar de conductividad requerida.



3. Enjuague la sonda con agua desionizada. Póngala en la solución de estándar de forma que el sensor de temperatura quede completamente sumergido.



4. Seleccione **Leer**. La pantalla mostrará **Estabilizando...** una barra aparece indicando el progreso de la estabilización de la sonda.



5. Cuando el valor alcance la estabilización, se mostrará el valor corregido de la temperatura. Pulse **Hecho** para ver el resumen de calibración.



6. Pulse **GUARDAR** para aceptar la calibración y volver al modo de medición.



## Medición

### Antes de la medición

La sonda debe tener el sello de duración de servicio correcto. Ajuste la fecha y la hora del medidor antes de conectar la sonda.
La sonda está calibrada de fábrica y lista para su uso. Con las aplicaciones que requieran una precisión superior, lleve a cabo una calibración de usuario ( <a href="#">Calibración en la página 3</a> ). Se necesitan calibraciones rutinarias.
Apriete bien la tuerca de bloqueo de la sonda cuando conecte ésta al medidor.
Si se necesita una trazabilidad completa, introduzca una ID de muestra y de operador antes de realizar la medición.
Consulte <a href="#">Pulse SALIR hasta que el medidor vuelva al modo de medición. en la página 10</a> para ver los errores de medición.
Para ver otros parámetros (TDS, salinidad o resistividad), seleccione la configuración de la CDC401 y, a continuación, seleccione el parámetro.
Para aplicar la sonda reforzada a distancia, lance suavemente la sonda con la mano. No balancee la sonda por el cable puesto que podría hacer daño al usuario, provocar tensiones importantes en el cable y acortar la duración de la sonda. Los daños producidos en estas condiciones no están cubiertos por la garantía del producto.
Cuando use la sonda CDC401 con la sonda LDO101 para realizar una corrección automática de la salinidad, ajuste la sonda CDC401 para medir la salinidad. Consulte la hoja de instrucciones de la sonda LDO101 para ver las instrucciones completas.

### Notas sobre la medición

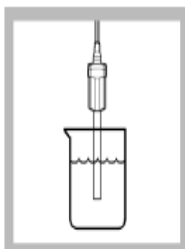
- Los datos se guardan automáticamente en el registro de datos cuando se selecciona **Pulsar para leer** o **Intervalo** en el modo de medición. Cuando se selecciona **Continuo**, los datos solo se guardan al seleccionar **Guardar**.



1. Conecte la sonda al medidor.



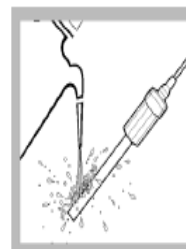
2. Aclare la sonda con agua desionizada y séquelase con un trapo de laboratorio.



3. Póngala en la muestra de forma que el sensor de temperatura quede completamente sumergido.



4. Seleccione **Leer**. La pantalla mostrará **Estabilizando...** una barra aparece indicando el progreso de la estabilización de la sonda.



5. El valor estabilizado corregirá automáticamente la medición a la temperatura de referencia seleccionada (20 ó 25 °C). Repita los pasos 2. y 3. para mediciones adicionales.

## Ejecución del estándar de comprobación

La función del estándar de comprobación sirve para validar el rendimiento del instrumento entre las mediciones de muestras. Utilice esta función para la medición periódica o a intervalos definidos por el usuario de una solución de estándar de la que se pueda realizar un seguimiento.

Establezca los criterios de los estándares de comprobación en el menú Opciones de los estándares de comprobación.

El control de acceso debe estar desactivado o se deberá introducir una contraseña válida antes de poder cambiar cualquier opción del método de estándar de comprobación.

1. Seleccione Ejecutar estándar de comprobación en el menú Opciones del medidor.
2. Obtenga la solución de estándar de conductividad especificada en la pantalla.
3. Enjuague la sonda y póngala en la solución de estándar hasta que el sensor de temperatura esté completamente sumergido. Mueva la sonda hacia arriba y hacia abajo o golpee suavemente el vaso para eliminar las burbujas de aire del electrodo.
4. Seleccione Leer. La pantalla mostrará el valor del estándar de comprobación y bien Estándar de comprobación aceptado o Estándar de comprobación erróneo.

Si la pantalla muestra Estándar de comprobación aceptado, seleccione Hecho para proceder con la medición de la muestra.

Si la pantalla muestra Estándar de comprobación erróneo, la medición estará fuera de los límites aceptados definidos por el usuario administrador y se sugerirá una nueva calibración. Si los criterios de aceptación se establecen para La calibración caduca con el error: Sí, la pantalla mostrará el icono de calibración y un signo de interrogación hasta que se vuelva a calibrar la sonda. Para corregir la calibración de la sonda y el indicador de estado, calibre la sonda ([Calibración en la página 3](#)).

## Mantenimiento

### Almacenamiento

Entre los usos, asegúrese de secar la sonda y guardarla en condiciones ambientales. Las sondas reforzadas pueden almacenarse con el protector colocado si el recipiente de almacenamiento es lo suficientemente grande.

### Mantenimiento de las sondas reforzadas

El protector protege los elementos del sensor durante las aplicaciones duras. Si no se coloca el protector durante el uso de campo, se pueden producir daños en los elementos de detección. Los daños producidos en estas condiciones no están cubiertos por la garantía. Antes de poder limpiar una sonda reforzada, es necesario quitar el protector. Coloque el protector después de haber limpiado la sonda.

Para quitar el protector:

1. Afloje y quite el anillo de seguridad.
2. Saque el protector y el anillo de seguridad del electrodo.

Para instalar el protector:

1. Ponga el anillo de seguridad en el electrodo con la parte roscada hacia la bola de cristal.
2. Deslice el protector en el electrodo hasta la ranura de bloqueo.
3. Apriete el anillo de seguridad en el protector.

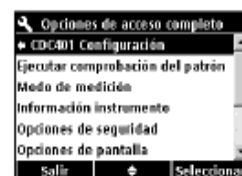
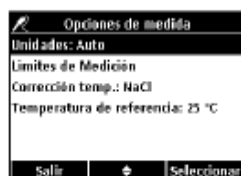
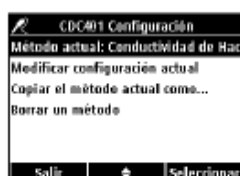


### Limpieza de la sonda

- Para los contaminantes generales, enjuague el electrodo con agua desionizada y séquelo cuidadosamente con un trapo limpio.
- Para las grasas y aceites, ponga a remojo el electrodo con una solución de detergente y agua caliente. Enjuague el electrodo por completo con agua desionizada y séquelo cuidadosamente con un trapo limpio.
- Para las formaciones minerales, ponga a remojo el electrodo en una solución de ácido clorhídrico (HCl) diluido al 10% durante menos de 5 minutos. Enjuague el electrodo por completo con agua desionizada y séquelo cuidadosamente con un trapo limpio.

### Operaciones avanzadas

Configuración específica de parámetros se puede cambiar a través del menú Opciones de acceso completo. Los detalles sobre la navegación por el menú, las opciones disponibles y cómo cambiarlas se facilitan en las pantallas, tablas y procedimientos de toda esta sección.



La configuración se puede cambiar como se muestra en la [Tabla 1](#).

Tabla 1 Configuración específica de parámetros

Configuración	Opciones
Parámetro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductividad</li> <li>• Salinidad</li> <li>• TDS</li> <li>• Resistividad</li> </ul>
Opciones de medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidades</li> <li>• Límites de medición</li> <li>• Corrección de temperatura</li> <li>• Factor de corrección (si se selecciona la corrección de temperatura lineal)</li> <li>• Temperatura de referencia (si se selecciona una corrección de temperatura)</li> </ul>
Opciones de calibración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estándar</li> <li>• Recordatorio de calibración</li> <li>• Unidades de estándar (si se selecciona la opción Personalizado)</li> <li>• Valor de estándar (si se selecciona la opción Personalizado)</li> <li>• Temperatura de referencia (si se selecciona la opción Personalizado)</li> <li>• Corrección de temperatura (si se selecciona la opción Personalizado)</li> </ul>
Opciones de estándar de comprobación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución de estándar para la verificación de la calibración</li> <li>• Recordatorio</li> <li>• Criterios de aceptación</li> </ul>

### Cambio de las opciones de medición

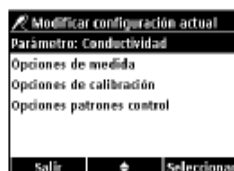
Los métodos son grupos de configuraciones predeterminadas o definidas por el usuario que corresponden a aplicaciones específicas. Si el medidor está configurado con el método predeterminado y se elige la opción Modificar configuración actual, se pedirá al usuario que dé un nombre al método después de que se puede elegir las opciones. La

configuración se guarda con este nombre con el fin de distinguirla de la configuración de método predeterminada, que no se puede cambiar. El usuario podrá entonces cambiar a un método guardado en lugar de tener que ajustar repetidamente parámetros individuales. Los cambios realizados en los métodos definidos por el usuario se guardan automáticamente con el nombre existente. Se pueden guardar varios métodos para la misma sonda.

Tabla 2 muestra los cinco métodos predeterminados disponibles para la sonda de conductividad de la CDC401.

Tabla 2 Métodos predeterminados de la CDC401

Configuración	Opciones	Descripción
Método actual	Conductividad Hach	Método predeterminado con los valores de medición de la conductividad. La conductividad se usa normalmente para las muestras de agua natural.
	TDS de Hach	Método predeterminado con los valores de medición de TDS. El indicador de TDS se usa normalmente para estimar la cantidad de sólidos totales disueltos en la muestra. El valor de conductividad también se mostrará en la pantalla Lectura detallada.
	Salinidad Hach	Método predeterminado con los valores de medición de salinidad. La salinidad se usa normalmente para muestras con un alto contenido en sales, como el agua de mar. El valor de conductividad también se mostrará en la pantalla Lectura detallada.
	Resistividad Hach	Método predeterminado con los valores de medición de resistividad. La resistividad se usa normalmente para aplicaciones de agua ultrapura.
	Predeterminado	—



1. Asegúrese de que hay una sonda conectada al medidor.
2. Pulse la tecla OPCIONES DEL MEDIDOR y seleccione (CDC401) Configuración.
3. Seleccione Modificar configuración actual.
4. Seleccione Parámetro para cambiar el parámetro que se mostrará en la pantalla. Seleccione Opciones de medición.
5. Actualice la configuración. Consulte la Tabla 3.

Tabla 3 Configuración de las opciones de medición

Configuración	Opciones	Descripción
Unidades: conductividad	Auto (predeterminado) $\mu\text{S}/\text{cm}$ $\text{mS}/\text{cm}$	Cuando se seleccione Auto, las unidades cambiarán automáticamente a $\text{mS}/\text{cm}$ cuando la conductividad de la muestra sea alta y a $\mu\text{S}/\text{cm}$ cuando sea baja. Seleccione $\mu\text{S}/\text{cm}$ o $\text{mS}/\text{cm}$ para mostrar siempre las mismas unidades.

Tabla 3 Configuración de las opciones de medición (continúa)

Configuración	Opciones	Descripción
Unidades: salinidad	‰ (predeterminado) g/kg <unitless> ppm (partes por mil)	Seleccione una de las unidades para la salinidad.
Límites de medición	Límite inferior (predeterminado: 0,01 µS/cm; 0 ‰) Límite superior (predeterminado: 400000 µS/cm; 42 ‰)	Los límites de medición se pueden ajustar para adaptarse a los valores aceptables de la muestra. Cuando la medición esté por encima del valor del límite superior o por debajo del inferior, el medidor mostrará el mensaje "Fuera de los límites". Este mensaje es una alerta de problemas potenciales con las condiciones del proceso.
Corrección de temperatura	Ninguno Lineal NaCl: no lineal (predeterminado) Agua natural	La conductividad de la muestra cambiará cuando cambie la temperatura. La corrección de temperatura mostrará la conductividad en la temperatura de referencia seleccionada por el usuario. La corrección de temperatura se puede cambiar o desactivar cuando el parámetro está configurado para la conductividad, TDS o resistividad.
Factor de corrección	% por °C (predeterminado: 1,80% por °C)	Quando la corrección de temperatura esté configurada para lineal, introduzca un factor de corrección basado en el tipo de muestra. Es posible que sea necesario determinar el factor de corrección experimentalmente. Por ejemplo, el factor para agua ultrapura frente a una solución salina de NaCl es del 4,55% frente al 2,125% por °C.
Temperatura de referencia	20 °C 25 °C (predeterminado)	Quando el parámetro esté configurado para la conductividad, TDS o resistividad, se podrá cambiar la temperatura de referencia para la corrección de la temperatura.
Forma de TDS	NaCl (predeterminado, factor 0,5) con diseño personalizado	Quando el parámetro esté establecido para TDS, el factor de conversión de la conductividad a los sólidos disueltos totales podrá basarse en una solución de NaCl o en una solución diferente. Para cambiar el factor, seleccione Personalizar e introduzca el factor de conversión y la información de corrección de temperatura.

*Nota: Las etiquetas y opciones pueden variar dependiendo de las unidades seleccionadas.*

- Si se le pide, introduzca un nombre para la configuración del nuevo método. Los cambios adicionales realizados en la configuración de un método existente se guardan automáticamente con el mismo nombre de método.
- Pulse **SALIR** hasta que el medidor vuelva al modo de medición.

### Cambio de las opciones de calibración



- Asegúrese de que hay una sonda conectada al medidor.
- Pulse la tecla **OPCIONES DEL MEDIDOR** y seleccione (CDC401) Configuración.
- Seleccione **Modificar configuración actual**.
- Seleccione **Opciones de calibración**.

5. Actualice la configuración. Consulte la [Tabla 4](#).

**Tabla 4 Configuración de las opciones de calibración**

Configuración	Opciones	Descripción
Estándar	1 D KCl, 111,3 mS/cm, 25 °C 0,1 D KCl, 12,85 mS/cm, 25 °C 0,01 D KCl, 1408 µS/cm, 25 °C 0,1 M KCl, 12,88 mS/cm, 25 °C 0,01 M KCl, 1413 µS/cm, 25 °C 0,001 M KCl, 146,93 µS/cm, 25 °C NaCl, 18 mS/cm, 25 °C NaCl, 1000 µS/cm, 25 °C NaCl, 25 µS/cm, 25 °C NaCl, 0,05%, 1015 µS/cm, 25 °C Agua de mar (S=35) Personalizado	Opciones para los estándares de calibración de la conductividad
Recordatorio de calibración	Repetición de recordatorio: Desactivado, 2 h, 4 h, 8 h, 2 d, 5 d, 7 d Caduca: Inmediatamente, recordatorio + 30 min, recordatorio + 1 h, recordatorio + 2 h, lectura continua	Opciones de los recordatorios de calibración
Unidades de estándar	(Solamente para el estándar de calibración personalizado)	Establece las unidades para el estándar de calibración personalizado
Valor de estándar	(Solamente para el estándar de calibración personalizado)	Establece los valores para el estándar de calibración personalizado
Temperatura de referencia	(Solamente para el estándar de calibración personalizado)	Establece la temperatura de referencia el estándar de calibración personalizado
Corrección de temperatura	(Solamente para el estándar de calibración personalizado)	Establece la corrección de temperatura para el estándar de calibración personalizado

6. Si se le pide, introduzca un nombre para la configuración del nuevo método. Los cambios adicionales realizados en la configuración de un método existente se guardan automáticamente con el mismo nombre de método.

7. Pulse **SALIR** hasta que el medidor vuelva al modo de medición.

### Solución de problemas

Mensaje o síntoma	Posible causa	Acción
Sonda incompatible	Software sin actualizar	Actualice el software del HQd a la última revisión en <a href="http://www.hach.com/SoftwareDownloads">www.hach.com/SoftwareDownloads</a> .
	El medidor HQd es incompatible con la sonda IntelliCAL	Póngase en contacto con un representante de la asistencia técnica de Hach.
Conecte una sonda o la sonda necesita reparación	La celda de conductividad no está conectada correctamente	Desconéctela y vuelva a conectarla. Apriete la tuerca de bloqueo.
	Software sin actualizar	Actualice el software del HQd a la última revisión en <a href="http://www.hach.com/SoftwareDownloads">www.hach.com/SoftwareDownloads</a> . Consulte el manual del medidor de la serie HQd.
	Hay un gran número de métodos guardados en la sonda.	Deje la sonda conectada. No la desconecte.
	Sonda dañada	Verifique la conectividad con otra sonda o medidor para confirmar que se trata de un problema con la sonda. Póngase en contacto con un representante de la asistencia técnica de Hach.
Tiempo de respuesta lento	Formación mineral o de muestra en los electrodos	Limpie la sonda como se ha descrito.

## Solución de problemas (continúa)

Mensaje o síntoma	Posible causa	Acción
Fuera de los márgenes	Error del sensor de temperatura o presión	Verifique que tanto los sensores de temperatura como los de presión realizan la lectura con precisión
	Sonda dañada	Cambie la sonda de conductividad o póngase en contacto con un representante de la asistencia técnica de Hach.
	La muestra se encuentra fuera de las especificaciones	Verifique que la concentración y la temperatura de la muestra están dentro de los márgenes de la CDC401.
Lecturas desviadas o imprecisas	Configuración incorrecta	Opciones de medición: verifique que la corrección de temperatura (factor de corrección si no está configurada como NaCl) y la temperatura de referencia son correctas.
		Opciones de calibración: verifique que el valor de estándar, la temperatura de referencia y la corrección de temperatura son correctos.
	Formación mineral o de muestra en la celda	Limpie la sonda como se ha descrito en la página 6.
	Absorción de CO <sub>2</sub> en muestras de concentraciones bajas de iones/de alta pureza.	Aísle las muestras de concentraciones bajas de iones/alta pureza para prevenir la contaminación de la muestra.
Error de calibración: fuera de los límites/fuera de los márgenes	Configuración incorrecta	Opciones de medición: verifique que la corrección de temperatura (factor de corrección si no está configurada como NaCl) y la temperatura de referencia son correctas.
		Opciones de calibración: verifique que el valor de estándar, la temperatura de referencia y la corrección de temperatura son correctos.

## Piezas de repuesto

Descripción	Cantidad	Número de artículo
Sonda de conductividad, estándar con cable de 1 metro	1	CDC40101
Sonda de conductividad, estándar con cable de 3 metros	1	CDC40103
Sonda de conductividad, reforzada, con cable de 5 metros	1	CDC40105
Sonda de conductividad, reforzada, con cable de 10 metros	1	CDC40110
Sonda de conductividad, reforzada, con cable de 15 metros	1	CDC40115
Sonda de conductividad, reforzada, con cable de 30 metros	1	CDC40130

## Accesorios

Descripción	Cantidad	Número de artículo
Impresora manual USB Citizen PD-24, 120–220 V CA	1	2960100
Clips de sonda codificados por color (5 juegos codificados por color)	10 x paquete	5818400
Kit de guantes solo para medidores HQd	1	5828700
Soporte del medidor	1	4754900
Papel de impresora para PD-24, térmico	5/paquete	5836000
USB y adaptador de CA para los medidores HQd (incluido con el HQ40d)	1	5826300
Teclado USB para medidores HQd (debe tener 5826300)	1	LZV 582
<b>Accesorios para sondas reforzadas</b>		
Marcador de profundidad de sonda (marcadores de cables reforzados)	1	5828610



## Accesorios

Descripción	Cantidad	Número de artículo
Funda de campo reforzada para 2 sondas con cables de hasta 5 m (10 m en total). Incluye: Funda vacía y separación para el almacenamiento del medidor y la sonda, (4) contenedores para la recogida de muestras	1	8505500
Funda de campo reforzada para tres sondas con cables de hasta 5 m (15 m en total). Incluye los mismos accesorios que la funda 8505500.	1	8505501
La funda de campo resistente para sondas con cables de > 5 metros (total 30 m) incluye: funda vacía y separación para el almacenamiento del medidor y la sonda, espacio para el almacenamiento del medidor HQd con guante protector	1	8505800
Kit de protector reforzado	1	5825900
<b>Accesorios de las sondas estándar</b>		
Kit de campo (incluye kit de guantes y cinco cápsulas de muestra de 120 ml).	1	5825800
Soporte de sonda IntelliCAL (para sondas estándar)	1	8506600
Portasondas estándar (para usar con guante protector)	1	5829400

## Consumibles

Descripción	Cantidad	Número de artículo
<b>Estándares de conductividad certificados<sup>1</sup></b>		
KCl, 1 Demal, 111,3 mS/cm $\pm$ 0,5% a 25 °C	500 ml	S51M001
KCl, 0,1 Demal, 12,85 mS/cm $\pm$ 0,35% a 25 °C	500 ml	S51M002
KCl, 0,01 Demal, 1408 $\mu$ S/cm $\pm$ 0,5% a 25 °C	500 ml	S51M003
NaCl, 0,05%, 1015 $\mu$ S/cm $\pm$ 0,5% a 25 °C	500 ml	S51M004
<b>Estándares de conductividad KCl</b>		
0,1 Molar KCl, 12,88 mS/cm a 25 °C	500 ml	C20C250
0,01 Molar KCl, 1413 $\mu$ S/cm a 25 °C	500 ml	C20C270
0,001 Molar KCl, 148 $\mu$ S/cm a 25 °C	500 ml	C20C280
<b>Estándares de conductividad NaCl</b>		
25 $\mu$ S/cm a 25 °C	250 ml	S51M013
180 $\mu$ S/cm a 25 °C	100 ml	2307542
1000 $\mu$ S/cm a 25 °C	100 ml	1440042
18 $\mu$ S/cm a 25 °C	100 ml	2307442
1990 $\mu$ S/cm a 25 °C	100 ml	210542
1990 $\mu$ S/cm a 25 °C	1000 ml	210553
<b>Estándares de agua de mar</b>		
Estándar de agua de mar (S=35), 53 mS/cm a 25 °C	500 ml	2714349

<sup>1</sup> Envío de estándares aprobados con certificados para la trazabilidad de materiales de referencia de estándar

## HACH Company World Headquarters

P.O. Box 389

Loveland, Colorado 80539-0389 U.S.A.

Tel (800) -227-4224 (U.S.A. only)

Fax (970) 669-2932

orders@hach.com • www.hach.com

International customers:

Tel +001 (970) 669-3050

Fax +001 (970) 669-2932

intl@hach.com

