

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



“EFECTO DE LA CÁSCARA DE *Solanum tuberosum* Y SULFATO DE ALUMINIO, EN LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

RIVERA CARDENAS, DAYSI YOCELIN

Villa El Salvador

2020

DEDICATORIA

Con amor para mis padres y mi adorada hermana

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por permitirme disfrutar de cada momento de la vida junto a mi familia, por brindarme las fuerzas para seguir avanzando valientemente y no dejarme sola frente a cualquier adversidad.

A mis padres Pedro Rivera y Carmela Cardenas, por su amor, su paciencia, por siempre estar presentes con su constante apoyo y depositar en mí su confianza; a mi hermana Jaisell Rivera, por ser mi soporte, luz y consuelo, festejando mis alegrías, reconfortándome en cuanto inconveniente se presentaba y por brindarme las palabras necesarias para no desistir en el trayecto, son ustedes mi familia amada el pilar en mi vida.

A mi mamita Apolonia, quien me acompañó a la distancia en este reto y porque en cada una de sus oraciones jamás faltó mi nombre; a mis tíos y primos por impulsarme y creerme en mí.

A los docentes que me apoyaron de corazón con sus aportes y recomendaciones; a mis amigos y a todas las personas que me ofrecieron su ayuda incondicional, sus consejos, sus ánimos y su cariño sincero a lo largo de esta etapa.

No fue sencillo todo este proceso, pero se dice que todo lo que anhelas conseguir en esta vida, suele ser como un camino cuesta arriba, con algunos miedos al empezar y gloriosas vistas al avanzar, gracias a Dios y a ustedes no fue solitario el camino, permitiéndome alcanzar este logro en mi vida profesional.

Gracias a todos.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ANTECEDENTES.....	3
2.2 BASES TEÓRICAS.....	8
2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS	45
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	46
3.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL.....	46
3.2 DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA	49
3.3 MODELO DE SOLUCIÓN PROPUESTO.....	50
3.4 RESULTADOS.....	67
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Medición de turbidez	16
Figura 2. Clasificación y distribución de partículas en el agua.....	18
Figura 3. Adición de coagulantes en el tratamiento primario	21
Figura 4. Coagulación por adsorción.....	25
Figura 5. Coagulación por barrido	26
Figura 6. Ruptura de flóculo por agitación intensa	27
Figura 7. Formación de flóculos por transporte pericinético y ortocinético.....	28
Figura 8. Efecto puente polímero	30
Figura 9. Parche electroestático.....	31
Figura 10. Estructura del almidón.....	41
Figura 11. <i>Solanum tuberosum</i> variedad Canchán	43
Figura 12. Plano de Ubicación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur	47
Figura 13. Plano de Ubicación de la PTAR Juan Velasco Alvarado	48
Figura 14. Aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado	51
Figura 15. Zona del afluente	52
Figura 16. Toma de medida en campo de pH y T°	53
Figura 17. Toma de muestra del agua residual de la zona del afluente.....	54
Figura 18. Cáscaras de <i>Solanum tuberosum</i>	55
Figura 19. Cáscaras de <i>Solanum tuberosum</i> deshidratada.....	55
Figura 20. Polvo de cáscara de <i>Solanum tuberosum</i>	56
Figura 21. Agitación de la solución madre de cáscaras de <i>Solanum tuberosum</i> .	57
Figura 22. Separación de dosis de la solución madre de <i>Solanum tuberosum</i>	57
Figura 23. Dosis separadas de ambas soluciones para el tratamiento.....	58
Figura 24. Muestras de agua residual antes del tratamiento	59
Figura 25. Muestras de agua residual luego del tratamiento	60
Figura 26. Obtención de alícuotas.....	61
Figura 27. Alícuotas separadas para el análisis final.....	61
Figura 28. Análisis final de turbidez.....	61
Figura 29. Diagrama de la investigación - <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio	64
Figura 30. Turbidímetro.....	65

Figura 31. Multiparámetro	66
Figura 32. Turbidez final con cáscaras de <i>Solanum tuberosum</i>	68
Figura 33. Turbidez final con sulfato de aluminio	71
Figura 34. Turbidez final con cáscaras de <i>Solanum tuberosum</i> y sulfato de aluminio	72
Figura 35. Eficiencia de remoción de turbidez.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de las cáscaras de <i>Solanum tuberosum</i>	42
Tabla 2. Descripción de <i>Solanum tuberosum</i> - Variedad Canchán.....	44
Tabla 3. Programación del Test de Jarras.....	63
Tabla 4. Parámetros iniciales en campo.....	67
Tabla 5. Parámetros iniciales	67
Tabla 6. Prueba de Normalidad	74
Tabla 7. ANOVA - Disminución porcentual de turbidez	75
Tabla 8. Comparaciones múltiples	76
Tabla 9. Prueba Tukey para tratamiento con <i>Solanum tuberosum</i>	77
Tabla 10. Prueba de Tukey para tratamiento con sulfato de aluminio	77

RESUMEN

El presente trabajo experimental tiene la finalidad de evaluar la efectividad en la disminución de la turbidez empleando un coagulante natural hecho a base de restos vegetales como la cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) y compararlos con un coagulante químico convencional como el sulfato de aluminio, utilizando para ello muestras de agua residual provenientes de la PTAR de Villa El Salvador. Antes de iniciar el tratamiento con los coagulantes señalados, se evaluó el parámetro inicial de turbidez de la muestra de agua obtenida, para luego terminado el tratamiento contrastarlos con los parámetros finales y determinar las dosis óptimas que muestren la mayor capacidad de remoción tanto del coagulante natural como del coagulante químico. El empleo de cáscaras de *Solanum tuberosum* para esta investigación, es a fin de poder aprovechar productos de desechos orgánicos y en adquirir productos de coagulación que no genere costos elevados, los cuales son utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. A la par, se busca disminuir el uso de coagulantes químicos para el tratamiento del agua, ya que estos traen efectos dañinos provocando desventajas para el medio ambiente y la salud.

Para la obtención de las cáscaras de papa, se recolectó a nivel de domicilio, se procedió a limpiar, secar en estufa, efectuar procesos de molienda, tamizado y posteriormente ser aplicado como coagulante natural. La simulación del tratamiento se realizó mediante el Test de Jarras, del cual se generó una mezcla lenta y rápida para poder así homogenizar y estimular el proceso de coagulación, efectuando cuatro repeticiones para cada dosis administrada de 200, 250 y 300 mg/L de ambos coagulantes, por último, se analizó los parámetros finales de turbidez y se evaluó su efectividad, conjuntamente se realizó los análisis estadísticos pertinentes para hallar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Como resultado se determinó la efectividad en la disminución de turbidez para ambos coagulantes, hallando para la cáscaras de *Solanum tuberosum* una dosis óptima de 250 mg/L donde se logró su mejor eficiencia de remoción, teniendo un 59.65% de disminución; mientras que, para el sulfato se obtuvo un mejor resultado en la dosis de 300 mg/L obteniendo 96.47% de efectividad. Estadísticamente se encontró diferencias significativas solo para el sulfato de aluminio.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La escasez del agua es una situación crítica que actualmente viene afectando a la población mundial y coloca en riesgo de su disfrute a nuestras futuras generaciones. El acelerado crecimiento poblacional, la concentración de ciudades y diversas actividades, provocan a su vez el aumento de aguas residuales causando su contaminación progresiva, esto sumado al incremento de la demanda de este recurso vital, propician que la disponibilidad del agua se torne cada vez más limitada.

Por tal, surgen métodos de tratamiento del agua con la finalidad de evitar su deterioro, los cuales representan una alternativa para proteger su disponibilidad, sin embargo en estos tratamientos se suman sustancias químicas, como el uso de coagulantes para el tratamiento habitual de aguas superficiales y residuales. Estos coagulantes son destinados en los procesos que se desarrollan en las plantas de tratamiento, por lo tanto, al ser añadidos al agua generan que los elementos contaminantes en suspensión puedan ser inducidos a aglutinarse y posteriormente sedimentar. Así mismo, el agua ya con menos sustancias suspendidas puede continuar con los siguientes tratamientos para su posterior uso, reuso o vertimiento. Por ello, en los procesos de coagulación-floculación, los coagulantes adquieren importancia significativa ya que son los responsables de la remoción y reducción de varios agentes contaminantes y parámetros que afectan la calidad del agua, entre ellos la turbidez.

Los coagulantes empleados en las plantas de tratamiento, generalmente son de origen químico e implican en su uso diversas desventajas operativas como la corrosión de las instalaciones debido a la acidez resultante luego del tratamiento, afecciones neuronales y repercusiones al medio ambiente según los estudios reportados. Sin embargo, hoy en día los esfuerzos en investigaciones para sustituir estos coagulantes químicos por coagulantes naturales, cobran mayor importancia al tratar de obtener sustancias coagulantes de origen vegetal, eco amigables, de poder efectivo y económicamente viables.

Por lo expuesto, en el presente trabajo se busca aprovechar los residuos de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) los cuales son considerados generalmente sin valor alguno y emplearlos como coagulante natural en el tratamiento de muestras de aguas residuales de origen doméstico, para luego a su vez compararlos con un coagulante químico convencional como el sulfato de aluminio y comprobar de esta manera su efectividad en la disminución de la turbidez.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- Evaluar la efectividad de la cáscara de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, en la disminución de la turbidez en el tratamiento de aguas residuales.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la dosis óptima de la cáscara de *Solanum tuberosum*, en la disminución de la turbidez en el tratamiento de aguas residuales.
- Determinar la dosis óptima del sulfato de aluminio, en la disminución de la turbidez en el tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacionales

Se ha conseguido evidenciar la capacidad de la cáscara de *Solanum tuberosum* como coagulante natural en base a la investigación reportada por Camacho, Campos, Mercado, Cubillán y Castellar (2020) donde se efectuó una prueba comparativa entre la cáscara de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio, utilizando como indicador el parámetro de la turbidez. Se empleó como muestra para tratar el agua proveniente de un humedal natural, en el cual existía el vertimiento de aguas residuales de origen doméstico. Entre los datos iniciales reportados, fue una turbidez de 59.60 NTU y pH de 7.4 unidades, mientras que para los tratamientos empleados consistieron en 6 concentraciones distintas de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L para ambos coagulantes, de esta forma se logró obtener hasta un 92.51% de eficiencia en la remoción de turbidez usando sulfato de aluminio en dosis de 40 mg/L y un 81.32% de remoción empleando las cáscaras de papa en dosis de 10mg/L. En base a los resultados se determinó que el uso de estos coagulantes influyen en la reducción de turbidez del agua, frente a ello, se escogió como mejor alternativa viable el uso de las cáscaras de *Solanum tuberosum* por ser un coagulante económico y eficiente en contraste con el sulfato de aluminio.

Es evidente, la vulnerabilidad de los cuerpos de agua por el vertimiento de aguas residuales vistas en el trabajo anterior, esto se agrava más si las aguas residuales vertidas no tienen un adecuado tratamiento que les permita estar exentas de agentes contaminantes, siendo estas las que degradan los ecosistemas, a ello se le suma el uso masivo y frecuente de químicos para tratar el agua, que si bien es cierto agilizan el tratamiento descontaminante, traen consigo consecuencias a largo plazo. Por ello, surge la importancia de poder investigar productos naturales que influyan en el proceso de

tratamiento del agua sin comprometer otros ámbitos que resulten perjudiciales o acarreen posteriores consecuencias.

De igual forma Quino (2020) realizó una investigación comparando el uso de tres coagulantes naturales (de entre ellos la cáscara de papa) con el sulfato de aluminio a niveles distintos de temperatura, con el objetivo de evaluar el efecto resultante de los parámetros fisicoquímicos, de entre ellos la turbidez y pH. El resultado final determinó que el uso de la cáscara de papa tiene efectos similares al coagulante químico mencionado. Las temperaturas donde ocurrieron las semejanzas fue de 19 °C para el coagulante natural con una eficiencia de 95.79 % respecto a la reducción de turbidez, y 25°C para el químico con una eficiencia de 98.38%. Cabe mencionar que la acidificación del agua tratada aumentó con el uso del sulfato de aluminio a comparación de la cáscara de papa. Por otra parte, el autor recomienda el uso de la cáscara de papa como coagulante para el tratamiento primario del agua residual, los cuales sirvieron de referencia para efectuar el presente trabajo.

El análisis precedente de Velasco, Labastida, Beltrán, Abogado y Gonzáles (2017) evaluó la eficiencia de la eliminación de materia orgánica (M.O) a través del almidón extraído de las cáscaras de papa, quitosano y sulfato de aluminio, para lo cual usó como parámetros indicadores la turbidez, sólidos totales suspendidos (SST) y demanda química del oxígeno (DQO). Por consiguiente, se halló una dosis óptima de 125 ppm (5ml) en un pH de 5 unidades para el sulfato de aluminio, respecto al almidón un valor de 250 ppm (10ml) en un pH de 8 ± 0.5 unidades y para el quitosano un valor de 360 ppm (12 ml) en un pH igual al del almidón. La mayor remoción se dio con el uso del sulfato para pH más ácidos, removiendo el 87% de turbidez, para el SST un 89% y para el DQO 47%, seguido del quitosano con 13% para el SST y un 10 % para la turbidez, y finalmente para el almidón con 11% de SST y 10% respecto a la turbidez. Sin embargo, combinando estos coagulantes orgánicos con el químico se logró eficiencias superiores.

Por otra parte, Carrasquero et al. (2017) tuvo como objetivo evaluar la efectividad de remoción de turbidez y color de los coagulantes derivados de la deshidratación de las cáscaras de papa y residuos de plátano. Para ello, utilizó niveles de agua sintética de baja, mediana y alta turbidez, de los cuales se evaluó los valores iniciales y finales de turbidez y color. Se identificó que en medida que la turbidez acrecentaba, el poder coagulante de las cáscaras de papa se hizo más eficiente, llegando por encima del 97% en una dosis óptima de 50 mg/L, mientras que para el plátano en 25 mg/L con una eficiencia mayor al 87%. Sin embargo, luego de filtrar las muestras simulando el proceso dentro de una planta de tratamiento del agua, se consiguió porcentajes de remoción más del 99% de eficiencia, llegando a la conclusión que, en aguas de elevada turbidez el uso de la cáscara de papa actúa con mayor eficiencia, y que el manejo de estos residuos vegetales pueden ser utilizados como alternativas viables frente al uso de los coagulantes convencionales.

En el trabajo realizado por Herrera (2015) demostró que el almidón de papa tiene comportamiento coagulante similar al sulfato de aluminio, para ello se realizó ensayos de coagulación empleando almidón nativo, almidón modificado químicamente (oxidado) y sulfato de aluminio tipo B como control, se determinó la concentración y dosis óptima evaluando la turbidez y color. Como resultado se obtuvo para el almidón nativo una dosis óptima de 50mg/L, reduciendo la turbidez de 355 a 20.4 NTU, para el color de 1660 a 412 PCU y una variación de pH 7.34 a 7.56 unidades, mientras que, con el almidón modificado químicamente se obtuvo una dosis óptima de 60 mg/L, reduciendo la turbidez hasta 19.2 NTU, color 395 UPC y variación de pH 7.34 a 7.05 unidades, y para el sulfato una dosis óptima de 30 mg/L, dando una turbidez final de 20 NTU, un color 190.5 PCU y una variación de pH de 7.34 a 7.43 unidades. Se tuvo finalmente, que el almidón de papa tiene efecto positivo en la eliminación de la turbidez y color, logrando disminuir la concentración de partículas coloidales.

2.1.2 Nacionales

Respecto a las investigaciones realizadas a nivel nacional, se tiene al de Chama (2017) cuyo objetivo fue remover la turbidez combinando almidón de papa y policloruro. Para ello determinó la masa del almidón a emplear y el volumen a utilizar del policloruro, hallando además la dosis óptima de la mezcla. Como resultado se redujo de una turbidez inicial de 16.1 a 6.3 NTU para el almidón, empleando para ello 0.2 gr de almidón, teniendo una concentración óptima de 133 mg/L; para el policloruro se logró una turbidez final de 9.1 NTU usando 13 ml siendo su concentración óptima de 2 072 mg/L y finalmente con la mezcla de ambos coagulantes se obtuvo un 7.9 NTU combinando 1 597 mg/L (10 ml) de policloruro con 133 mg/L (0.2 gr) de almidón. El trabajo descrito concluye que no es necesario emplear altas dosis usando coagulantes naturales para lograr disminuir la turbidez, pues los valores reportados muestran resultados semejantes al agente químico empleado.

Un trabajo similar al anterior fue el de Chalco (2016) donde determinó la efectividad del almidón de papa como agente complementario del coagulante químico sulfato de aluminio. Evaluó el poder de remoción en tres bloques de turbidez de 70, 500 y 900 NTU, se encontró las dosis óptimas del sulfato con sus respectivas eficiencias en cada bloque de turbidez para luego combinarlo con el almidón (mezcla). Se halló la dosis óptima de 40 mg/L de sulfato de aluminio (92.26% de eficiencia) y 12 mg/L de almidón de papa para la turbidez de 70 NTU, dando una eficiencia en mezcla de 93.39%, para la turbidez de 500 NTU, se tuvo una dosis óptima de 120 mg/L de sulfato de aluminio (94.08% de eficiencia) y 8 mg/L de almidón de papa con una eficiencia en mezcla de 95.9 % y finalmente para una turbidez de 900 NTU, se obtuvo una dosis óptima de 140 mg/L de sulfato de aluminio (95.41% de eficiencia) y 8 mg/L de almidón dando una eficiencia en mezcla de 99.15%, siendo esta última donde se produjo la mayor remoción llegando a 5.92 NTU; se indicó asimismo que el rango de pH de valores de 6.10 a 7.22 unidades fue donde se alcanzó mayor eficiencia. Como conclusión se determinó que el almidón de papa es un eficiente auxiliar de coagulación, ya que alcanzó mayor remoción de turbidez que empleando el sulfato por sí solo.

Cabe señalar que en el trabajo mencionado se consideró el uso de papa de la variedad Canchán, visto que según estudios presentan mayor reserva de almidón, así mismo sobre la base de los resultados descritos, se recomendó realizar más pruebas de coagulación en aguas de otro origen que no sea superficial, dando como recomendación la investigación en aguas residuales domésticas.

Por otro lado, se tiene el trabajo realizado por Hurtado y Yarleque (2017) en el cual evaluó la capacidad clarificadora del almidón de papa en base a la remoción de sólidos totales y suspendidos, adicional a ello se evaluó la turbidez, color y variación de pH; para ello se empleó dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L. Por consiguiente, se obtuvo que la capacidad clarificadora del almidón logró un 86.9% de eficiencia y una dosis óptima de 80 mg/L en la remoción de sólidos totales y suspendidos, tornando el agua tratada apta para el consumo, pues alcanzó los parámetros establecidos por la norma. Respecto a la turbidez en la dosis mencionada se redujo de 30 a 4.1 NTU, para el color de 10 a 5 PCU y una variación de pH de 7.5 a 7.3 unidades.

En el trabajo presentado por Broncano y Rosario (2017) identificó la eficiencia del coagulante de la mashua y de las cáscaras de papa. Se halló para la mashua una dosis óptima de 15 mg/L y pH 7.5 unidades, siendo estos valores donde alcanzó la mayor eficiencia de 93% de remoción para la turbidez y 45% de remoción para los sólidos totales disueltos, mientras que para las cáscaras de papa se dio mayor disminución con la dosis de 50 mg/L y pH óptimo de 7.5 unidades, logrando una eficiencia del 93% para la remoción de turbidez y 45% para los sólidos totales disueltos. Adicionalmente en la investigación se realizó un análisis microbiológico, dando para la cáscara de papa una remoción de bacterias heterótrofas entre 43% y 52%, mientras que para la mashua un 2%, dando un mejor resultado para la remoción de bacterias con el uso de cáscaras de papa.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 El agua

El agua, recurso indispensable y fundamental para el sostén de la vida, en el transcurso de los años junto al desarrollo evolutivo del hombre, fue modificando su naturaleza y alcanzando un estado de contaminación alarmante, desarrollando un proceso de reducción en su disponibilidad e involucrando consecuentemente el bienestar y existencia del ser humano así como toda vida presente en la tierra.

En esta situación, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2012) estima que para el año 2050, la demanda de agua mundial aumentará a una escala del 55%, cifra alarmante para un mundo en crecimiento acelerado. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) a mediados del año 2019 la población mundial alcanzó los 7.7 mil millones de habitantes, y se estima que alcance 8.4 mil millones para el año 2030 y para el 2050 entre 9.4 millones aproximadamente. Dentro de ese marco, el crecimiento poblacional junto con el proceso de desarrollo de actividades económicas y las diversas formas de consumo, han inducido que la disponibilidad del agua se incremente en una tasa del 1% anual, y se afirma de acuerdo a los reportes del Programa Mundial de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP, 2018) en base a los datos mencionados, que la mayor demanda de agua se dará en los países en vías de desarrollo.

Partiendo de lo anterior, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020) menciona que el Perú es el séptimo país más poblado a nivel mundial. Tal es el caso, que hasta el 30 de junio del año 2020, se estimó un total de 32 millones 625 mil 948 personas a nivel nacional. Dentro de este análisis, la ciudad de Lima cuenta con 9 674 755 habitantes, representando el 29.7% de la población, siendo la ciudad con mayor concentración de habitantes a nivel nacional, sumado a ello la ubicación desértica en la que se encuentra.

Frente a ello, Quino (2017) menciona que el Perú gozaba de disponibilidad hasta el 2013 un volumen anual promedio de 1'935,621 hm³ de agua superficial, con una demanda total de 49'717.97 hm³ en actividades de índole productivo. Así mismo, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2013) refiere que la costa consume un 46.9 % de agua disponible anualmente, esto debido a la demanda para actividades de agricultura, abastecimiento de la población y concentración acelerada de las industrias.

De las afirmaciones anteriores, el estudio realizado por Mc Donald et al. (2014) destacó a Lima como una de las 20 metrópolis con mayor estrés hídrico a nivel mundial, es decir, la demanda de agua supera su disponibilidad. Sobre este asunto Díaz, Esteller y López (2005) señalan que la disponibilidad de los recursos hídricos condiciona el adecuado desarrollo de una región, país o continente. De manera que el incremento de las urbes, el aumento de riego y la desenfrenada contaminación, son factores que ejercen sobre los recursos hídricos una presión constante.

En efecto, esta situación genera que las reservas de agua se tornen cada vez más críticas, sumado a ello el aumento de habitantes y demás factores, los que traen como consecuencia adicional el incremento de aguas residuales, empeorando aún más la situación si añadimos que para tratar estas aguas contaminadas se hace el uso masivo de sustancias químicas, las mismas que generan una tendencia insostenible de tratamiento a largo plazo.

2.2.1.1 Contaminación del agua

Para Campos (2000) la contaminación del agua es todo elemento presente cuya cantidad supere los niveles normales de los que se hallan en el ambiente, causando efectos adversos a las personas, animales, vegetación e inclusive a los bienes materiales. En relación a ello, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, 2018) estima que cerca de una tercera parte de la población a nivel mundial no dispone de una fuente de agua exenta de contaminación.

En esta situación, Campos (2000) puntualiza dos tipos de contaminantes presentes en el agua, de los cuales se tienen:

- **Contaminantes orgánicos:** Compuestos que llevan carbono en su estructura, como por ejemplo los aceites y grasas, hidrocarburos, compuestos derivados del benceno, contaminantes formados por elementos como nitrógeno, hidrógeno, carbono, oxígeno y materia orgánica suspendida la cual está ligada con el aumento de la turbidez del agua, que en consecuencia produce la alteración de la fotosíntesis y disminución de oxígeno; a su vez, los desechos orgánicos dispersos en el agua traen en efecto enfermedades como la fiebre tifoidea, el cólera, entre otros.
- **Contaminantes inorgánicos:** En ellos se encuentran las sales solubles e insolubles como sulfatos, sulfitos, nitratos, nitritos, cloruros, etc. Estas se subdividen en dos categorías: están los inorgánicos en suspensión, los cuales al depositarse obstruyen los cursos de agua perjudicando a la flora y fauna; y los contaminantes inorgánicos disueltos, que provienen de ácidos o sales de metales, siendo estos los que perjudican la vida acuática.

El Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2016) especifica que el origen inminente de la contaminación del agua es el incremento de las aguas residuales sin tratamiento adecuado, las cuales son vertidas a ríos o lagos, de manera que, para disponer de agua libre de contaminantes es necesario realizar tratamientos previos para ser posteriormente aprovechados.

Por ello, según lo expuesto, obtener agua ya sea para consumo o emplearla para distintos propósitos económicos, productivos o recreativos no es suficiente, mucho menos si esta se encuentra contaminada y compromete nuestro bienestar. En definitiva, tratar el agua residual es cada vez más complejo debido a los contaminantes presentes. Por ello, para tratar y obtener agua disponible para diversos fines, se utilizan productos químicos para generar condiciones sanitarias adecuadas y obtener su

disposición sin tener daños a la salud. Sin embargo, el uso de estos productos sintéticos compromete a su vez diversos ámbitos ecosistémicos provocando su deterioro.

2.2.1.2 Aguas residuales

Metcalf y Eddy (1995) identifican como agua residual a la composición de aguas resultantes de diversos usos, como aguas procedentes de residencias, instituciones públicas e industriales, integrándose a estas las aguas subterráneas, superficiales y de forma eventual las de origen pluvial. Por otro lado, WWAP (2017) señala que cerca del 80% de estas aguas de origen municipal e industrial retornan a los ecosistemas sin ningún tratamiento. Como consecuencia, se menciona que el vertido de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento inadecuado hacia el medio ambiente trae diversas repercusiones, como la interferencia entre el equilibrio de los ecosistemas, lo que genera efectos desfavorables para el desarrollo de las actividades económicas.

Camacho (2013) señala que para el efluente del agua residual de origen doméstico o urbano, compone desechos de alimentos, excretas, sales minerales, materia orgánica, aceites, productos de baño y cocina. Estos son vertidos al sistema de alcantarillado mezclándose con aguas residuales de actividades comerciales, servicio y/o industria.

Adicional a lo anterior, cabe señalar que para el Perú, según un estudio realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) se calcula una producción de 42.5 m³/s de aguas residuales domésticas, siendo la zona costera aportante de 27.9 m³/s lo que representa el 66% del total, de los cuales Lima y Callao generan 18.3 m³/s, representando solo estas dos provincias el 43%. De acuerdo a los datos mencionados, se genera una alarmante preocupación por la cantidad de agua residual producida, más aún si los tratamientos e insumos convencionales que se emplean para limpiarla, devolverla al medio ambiente o reusarla implican costos exorbitantes.

2.2.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR

Lozano (2012) sostiene que las plantas de tratamiento de aguas residuales son el conjunto de estructuras que involucran operaciones y procesos fisicoquímicos, con finalidad de lograr reducir los contaminantes del efluente, para de esta manera ser vertidos a un cuerpo receptor o por consiguiente ser reusados. Es decir, que en base a los tratamientos que se realizan, se permite recuperar y limpiar el agua contaminada, de manera que, según la normativa de cada país y dependiendo de la disposición final que se le dé al agua tratada, permita de esta forma proteger los recursos hídricos y los diversos ámbitos ecológicos que los rodean.

Por otro lado, cabe resaltar que el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF, 2019) enfatiza que hasta el 2017, existió un aproximado de 7000 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de origen doméstico, señalando para el Perú un total de 204 plantas. Sin embargo, se identificó que la operación ejecutada dentro de las PTAR's de América Latina se efectuaba de forma ineficiente, logrando dar un alcance de la situación crítica de tratamientos inadecuados destinados al reintegro del agua residual al medio ambiente.

A este respecto para el ámbito peruano, la ANA (2016) señala que de 336 PTAR identificadas en el país, solo 159 plantas de tratamiento generan en suma 7.8 m³/s de efluentes, equivalentes al 25% de agua tratada, los cuales son destinados al reuso para riego agrícola y áreas verdes urbanas, mientras que los demás PTAR descargan sus efluentes en ríos, lagos y océanos. Esto nos indica sobre la cantidad diferenciada de la disposición final de agua residual tratada que van a parar en su totalidad a cuerpos receptores y muy poca es destinada al reuso, agravando aún más la reserva de los recursos hídricos, sumado a ello el reporte mencionado de la ineficiente operatividad de las plantas que por lo común recurren a la aplicación de sustancias químicas.

Por otro lado, dentro de las razones de deficiencia de las PTAR's, se destaca la falta de inversión para la mejora de los tratamientos, ya que gran parte de

estas funcionan u operan con lo que tienen a su disponibilidad. Entran a tallar además, los elevados costos operacionales y de mantenimiento por la tecnología empleada, la disponibilidad de los insumos, personal no calificado y sobre todo la falta de fiscalización o control de vertimientos por parte de las autoridades (CAF, 2019). Por ello, los tratamientos del agua deben de estar relacionados con métodos viables y sostenibles, para de esta manera purificar, desinfectar y proteger este recurso contra la recontaminación (WWAP, 2019).

2.2.2.1 Tratamiento de Aguas Residuales

A través del tratamiento del agua se involucra mecanismos químicos, físicos y biológicos, los cuales están orientados a realizar la depuración de las aguas residuales para su posterior vertimiento. Díaz (2003) considera que estos mecanismos son la base causal de generar en un tiempo y espacio delimitado la simulación de mecanismos de autodepuración natural que se dan en los ecosistemas acuáticos.

En cuanto a las razones que se asumen para realizar el tratamiento del agua residual, varían de acuerdo a cada sector específico de la sociedad. Respecto a las razones estatales y sociales, están íntimamente ligados además de la protección del medio ambiente como a la salud pública, al correcto funcionamiento de la PTAR municipal y protección del alcantarillado; mientras que para las razones industriales, van desde marketing ambiental, cumplimiento de estándares internacionales y recuperación de residuos, ello con la finalidad de poder generar más ingresos, como por ejemplo el reuso de lodos activados, entre otros (Lozano, 2012).

Por un lado, WWAP (2017) resalta que de 181 países, solo 55 cuentan con información respecto al tratamiento y uso de aguas residuales, sin embargo, esta escasa cantidad reportada se encuentra ampliamente desactualizada. Vale mencionar, que tratar las aguas residuales y reusarlas es una de las tácticas ambientales para alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible, específicamente el sexto objetivo está relacionado a

la calidad de agua y saneamiento. Dentro de este marco, la agenda para el año 2030 de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015) se proyecta reducir a la mitad las aguas residuales sin tratar, ya que estas son promotoras de la liberación de elementos contaminantes en estados sólidos o disueltos causantes de la degradación del agua.

En relación a lo expuesto, Camacho (2013) identifica los procesos generales que abarcan el adecuado tratamiento del agua residual, siendo estos los procesos primarios, secundarios y terciarios dentro de una planta de tratamiento. Campos (2000) los detalla encontrándose divididas en los siguientes niveles:

- **Pre-tratamiento:** Permite el acondicionamiento del agua a tratar, con la finalidad de evitar averías o interferir en el funcionamiento de las instalaciones de la PTAR, en ella se retira arenas, aceites, objetos y sólidos gruesos. Entre las operaciones que se dan en esta fase se encuentran el cribado o rejas, desarenado, trituración y finalmente separación de aceites.
- **Tratamiento primario:** Permite remover los sólidos suspendidos y sedimentables causales de la turbidez del agua. Para el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM, 2010) esta etapa permite además regular la acidez o alcalinidad generada y promueve la separación de agregados o elementos inorgánicos. Entre los principales procesos dentro de este tratamiento se tiene a la coagulación y floculación, los cuales permiten alcanzar con facilidad la eliminación de sólidos suspendidos y partículas coloidales.

Tanto para Tzoupanos y Zouboulis (2008) relacionan que el material suspendido en aguas superficiales y aguas residuales se genera por la erosión de la tierra, disolución de minerales, descomposición de materia vegetal y de los vertidos domésticos e industriales. En base a los materiales suspendidos, abarcan desde materia orgánica e inorgánica en suspensión y organismos biológicos (virus, bacterias y algas) promotores de la disminución de la calidad del agua y fuente de enfermedades. Para obtener

la eliminación de estos elementos se recurre habitualmente a los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, procesos que forman generalmente parte del tratamiento primario del agua.

De acuerdo al FONAM (2010) estos procesos son afectados por el pH, la velocidad de contacto y tiempo, permitiendo la eliminación de contaminantes presentes en el agua residual. Usualmente para estimular la coagulación se emplea agentes químicos denominados coagulantes, los cuales serán detallados más adelante.

- **Tratamiento secundario:** Permiten reducir la materia orgánica empleando microorganismos como las bacterias, estas descomponen la materia natural degradable presente en el agua residual empleando técnicas de tipo aerobio o anaerobio.
- **Tratamiento terciario:** En este tipo de tratamiento usualmente se encuentra la desinfección, siendo este un procedimiento costoso y de difícil implementación, generalmente aplicado para la potabilización del agua.

2.2.3 Turbidez

Vera (2007) describe a la turbidez como la pérdida de luz emitida por la desviación de rayos luminosos al chocar con una cantidad de partículas presentes en el agua de diferentes formas y tamaños. Por ello, debido a la carga material suspendida en el agua, la luz se refracta, es así que a mayor sea la cantidad de elementos en suspensión mayor será la turbidez, por tanto la traslucidez del agua será menor.

Por otro lado, Acebo y Hernández (2013) refieren que su unidad de medida estándar de la turbidez es Unidades Nefelometría de Turbidez (NTU) y entre los métodos turbidimétricos para elevadas concentraciones de material suspendido se encuentra el turbidímetro, el cual por medio de la adsorción y luz dispersa de 90° determina el valor de turbiedad presente en una sustancia líquida. En definitiva, tal como se muestra en la Figura 1 adaptado en base a la explicación del autor, los sólidos suspendidos adsorben y

dispersan una cantidad de luz emitida por el turbidímetro, la relación de estas señales de luz llega a un sensor electrónico que lo traduce finalmente en un valor numérico de turbidez, a su vez esto va a depender de la concentración de partículas suspendidas así como su dimensión, distribución, forma y superficie.

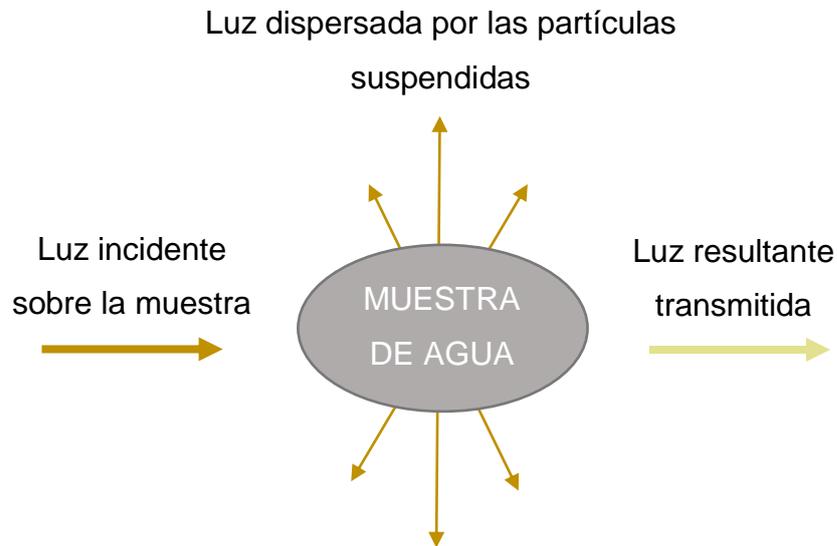


Figura 1. Medición de turbidez

Para lograr disminuir la turbidez del agua, se recurre de conforme a Carrasquero et al. (2017) a los procesos de coagulación y floculación, permitiendo a través de la disminución de este parámetro remover agentes biológicos nocivos y a la par mejorar la calidad del agua.

2.2.3.1 Importancia

Torres (2019) destaca que los niveles altos de turbidez funcionan como barreras protectoras adsorbentes de microorganismos patógenos, metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos, microplástico, partículas sintéticas, plaguicidas, entre otros. En cuanto a Martínez, Mendoza, Medrano, Gómez y Zafra (2020) aclaran que la turbidez como propiedad óptica es un informante indirecto de contaminación microbiológica, pues está ligada a la presencia de bacterias y a la estimulación de reproducción de agentes microbianos patógenos, los cuales desencadenan el aumento de cloro en el tratamiento del agua para lograr eliminarlos. Por ello, la

turbidez representa un obstáculo en los procesos de desinfección, ya que inhibe la eficacia de acción sanitaria en el agua, puesto que actúan como una barrera protectora de contaminantes, lo que se traduce en gastos adicionales para los procesos de tratamiento del agua.

En efecto, la turbidez tiene importancia sanitaria debido a que está ligado a la protección de microorganismos causantes de enfermedades y deterioro de la calidad del agua, asimismo tienen efectos en los ecosistemas acuáticos, pues las partículas suspendidas retienen calor reduciendo el oxígeno en el agua, lo que altera los procesos fotosintéticos y la vida reproductiva acuática.

Por otra parte, Samame (2016) señala su importancia para determinar la potabilización del agua, por ello el grado de importancia para las industrias de alimentos y bebidas. Resalta además que los valores de turbidez permiten establecer el nivel de tratabilidad del agua, estimar la tasa de filtrabilidad requerida e intervienen en la efectividad del proceso de coagulación.

2.2.3.2 Causas

Broncano y Rosario (2017) sostienen que la turbidez es una forma mediata de medir la cuantía de las partículas en un líquido, cuya suspensión origina la reducción de su transparencia. Por su parte, Martínez et al. (2020) especifica que la turbidez refleja el contenido de sustancias coloidales, minerales, sustancias orgánicas o materia insoluble que producen o dan un indicio de la contaminación del agua, y para conseguir eliminarlos o reducir la presencia de estos, se hace el uso frecuente de coagulantes químicos.

2.2.4 Partículas coloidales

Lorenzo (2006) señala que los coloides, son partículas microscópicas con tamaño y densidad variable, poseen iones superficiales que estimulan la repulsión entre partículas similares a ellas, ocasionando su estado de suspensión en el agua.

Frente a ello, López (2018) refiere que la carga negativa superficial homónima que suelen tener, genera su estabilidad dificultando su precipitación, cuyo tiempo estimado puede abarcar desde días e incluso años. Son estas partículas que debido a su tamaño y peso no pueden llegar a sedimentarse por acción natural de la gravedad, razón por la cual se requiere el empleo de agentes químicos para inducir su sedimentación. Aguirre, Piraneque y Cruz (2018) indican que el agua procedente de múltiples lugares arrastra consigo partículas coloidales que deterioran su calidad dificultando su tratamiento.

Para Barrenechea (2004) la distribución de partículas en el agua son agentes influentes y causales de la turbiedad, asimismo estas pueden estar disueltas influyendo en el color u olor del agua (partículas hasta 1m μ), pueden presentarse como partículas coloidales (de 1 a 1000 m μ) causantes de la turbidez (Figura 2) y constituir partículas suspendidas (más de 1000 m μ) que sedimentan en un periodo de reposo no muy largo por acción natural de la gravedad.

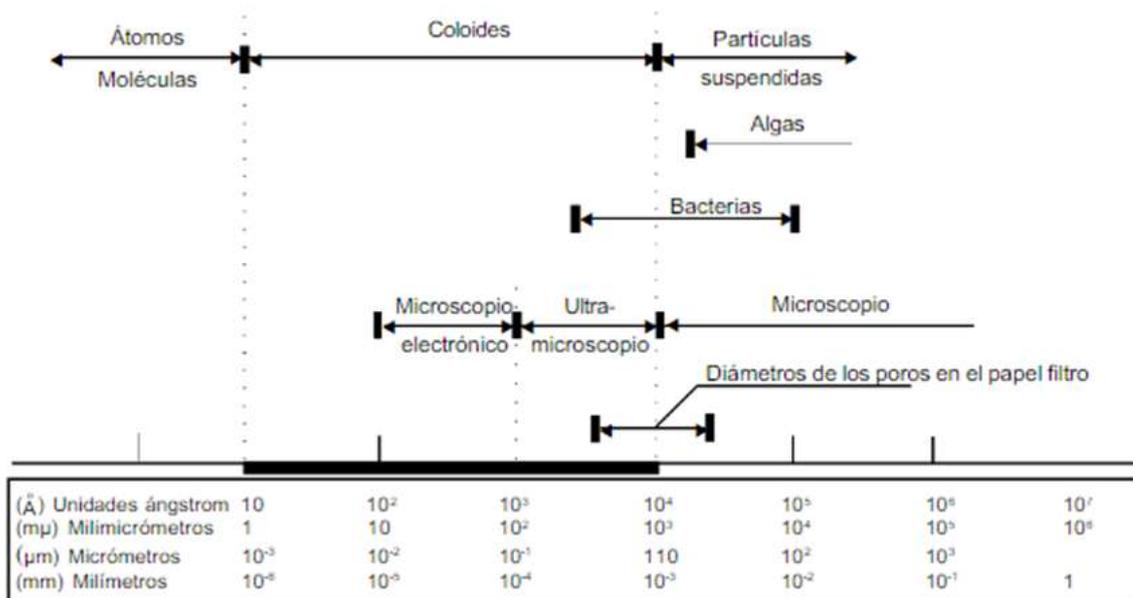


Figura 2. Clasificación y distribución de partículas en el agua

Por lo descrito, las partículas coloidales obstaculizan los procesos del tratamiento del agua por su carga superficial y por el tamaño microscópico

que tienen, estas confieren características inusuales que interfieren en los procesos operativos de clarificación. Los factores de estabilidad e inestabilidad que se les concede a estas partículas se debe a las fuerzas de atracción de Van der Waals y a las fuerzas de repulsión electrostáticas, debido a ello, se busca reducir mediante el empleo de coagulantes estas fuerzas y así generar condiciones adecuadas para lograr removerlas (Andia, 2000).

La acción de las fuerzas mencionadas entre las partículas coloidales actúan de modo que, a cuanto más alejados estén las partículas por la repulsión que hay entre ellas, estas se vuelven estables y cuanto más cerca se encuentren se desestabilizan o atraen, razón por la cual, se busca en el tratamiento del agua respecto a estos coloides, reducir esas fuerzas de repulsión para que puedan finalmente juntarse o chocar entre ellas, aglomerarse, sedimentar y finalmente ser eliminadas.

2.2.4.1 Remoción

Respecto a la remoción de estas partículas con características coloidales, se precisa desestabilizarlas mediante el agregado de sustancias químicas coagulantes, esto se da en los denominados procesos de coagulación, floculación y sedimentación; en cuanto a la coagulación ocurren dos sucesos de índole químico y físico (Barrenechea, 2004). En la primera se da una reacción entre el coagulante utilizado y el agua, como resultado se obtiene la constitución de especies hidrolizadas con carga positiva, dicho suceso dependerá de la dosis del coagulante y del pH resultante. En la segunda, consiste en el traslado de estas especies formadas en la etapa anterior hacia los coloides presentes en el agua, con la finalidad de desestabilizarlas, poder sedimentarlas y alcanzar su remoción.

En lo que concierne a la desestabilización, Weber (1979) indica que el coagulante añadido logra afectar a los coloides por medio de la neutralización, enlaces de puente o en su conjunto. La concentración y dosis que se emplean permiten llevar con éxito la remoción, sin embargo

una sobredosis puede influenciar el efecto adverso si no se maneja adecuadamente su uso.

2.2.5 Proceso de coagulación y floculación

De acuerdo a Tzoupanos y Zoubooulis (2008) el proceso de coagulación-floculación son procesos distintos que operan de forma consecutiva, pues entre ambos se complementan a fin de obtener una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes. Por esta razón, Linchtouse et al. (2019) refiere que el objetivo principal de estos procesos es reducir o eliminar los sólidos en suspensión y materia coloidal, traduciéndose en la clarificación final del agua. Por otro lado, estos métodos se emplean comúnmente en el tratamiento de agua potable pero también en la descontaminación de aguas residuales y en la deshidratación de lodos.

Wang et al. (2002) añade que los procesos mencionados permiten remover eficazmente concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos. Además de ello, logran remover el color, aceites, grasas entre otros (Oladoja, 2015). En síntesis, estos procesos en su conjunto tienen el propósito de retirar las impurezas del agua, pero específicamente de aquellas partículas no sedimentables, las cuales luego de efectuar los procesos mencionados logran unirse formando masas mayores a su masa individual para luego precipitar.

En general, los procesos de coagulación y floculación se usan para remover la turbidez orgánica e inorgánica del agua, así como también reducir su color verdadero y aparente, separar componentes o sustancias tóxicas causantes de la generación de olor y sabor, y además de ello permiten eliminación de virus, bacterias, microorganismos patógenos y algas (Lorenzo, 2006). Por ello, estos procesos pueden determinar la eficiencia general del tratamiento del agua, independientemente del destino posterior que se dé al agua tratada.

2.2.5.1 Coagulación

Para Taron, Guzmán y Barros (2017) la coagulación es esencial en las plantas de tratamiento del agua superficial y residual de origen doméstico e industrial. Por medio del proceso de coagulación, se logra remover los parámetros de turbidez, color y materia orgánica, permitiendo realizar la expulsión de agentes contaminantes.

A modo de ejemplificar lo mencionado se muestra la Figura 3, ya que en las plantas de tratamiento convencionales el empleo de coagulantes se realiza como parte del tratamiento primario con la finalidad de obtener agua con menos carga contaminante, para que mediante posteriores tratamientos complementarios se consiga un nivel deseable de depuración según el destino que se le dé al agua tratada.

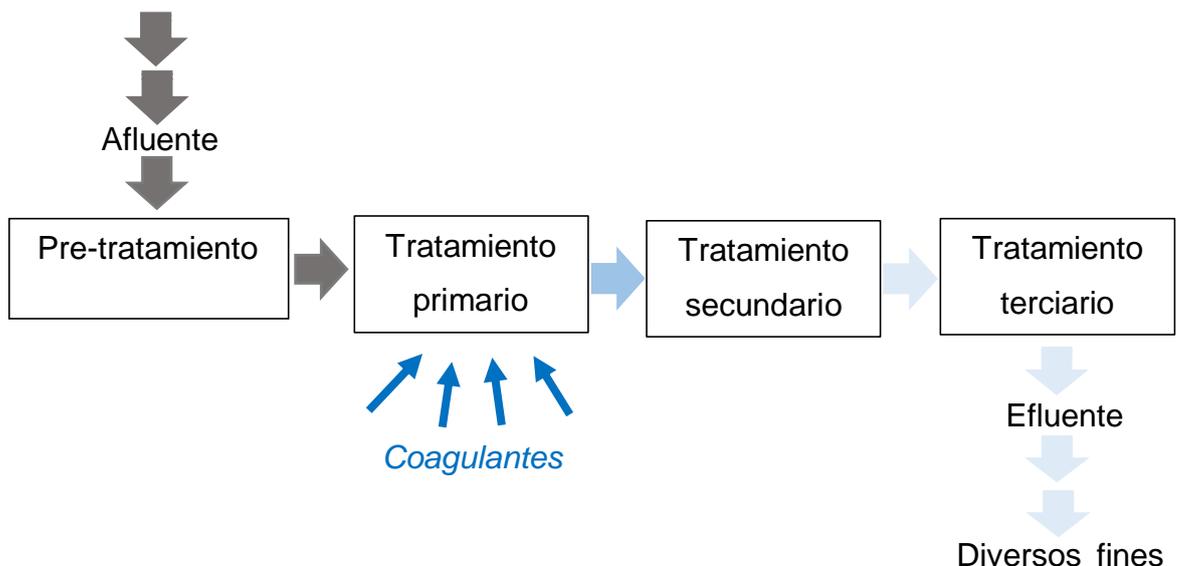


Figura 3. Adición de coagulantes en el tratamiento primario

En definitiva, Abi-faiçal (2010) argumenta que la coagulación es el proceso de inestabilidad de las partículas coloidales mediante la neutralización de sus cargas habitualmente negativas, son estas cargas las que evitan que las partículas puedan juntarse. Al igual que los coloides, las sustancias húmicas y diversos microorganismos presentan este tipo de carga en su superficie, indica además que son en las unidades de mezcla rápida donde se da el proceso de coagulación. Frente a ello, Vargas y Romero (2006)

sostienen que se hace el uso de iones con carga positiva (coagulantes) para romper el enlace que promueve la repulsión entre estas (Fuerza electroestática) y así propiciar su desestabilización.

En efecto, por medio de la coagulación se anulan las cargas de las partículas coloidales, los cuales provocan un estado de repulsión entre ellas evitando que se agrupen. Realizado la anulación o neutralización de estas cargas, se logrará conglomerar las partículas hasta formar un mayor tamaño, como consecuencia de ello, estas finalmente podrán ser separadas del líquido en el cual se conservaban suspendidas. Para desestabilizar las partículas coloidales, generalmente se emplean coagulantes químicos u orgánicos, que mediante una fuerza de turbulencia ejercida por la mezcla rápida se inicie a neutralizar las cargas, para que poco a poco los agentes coloidales se agrupen y en consecuencia logren depositar.

De hecho, Jiang (2015) afirma que la coagulación desempeña un rol significativo referido al tratamiento de agua y agua residual, ya sea de forma directa o indirectamente, pues ejerce un control en las partículas coloidales, microorganismos, materia orgánica y sintética, iones y metales inorgánicos, mejorando de esta manera la eficiencia del tratamiento así como la rentabilidad del agua y de aguas residuales.

- **Factores que influyen en la coagulación**

Andia (2000) detalla ciertos factores que pueden interferir o alterar el proceso de coagulación, la cuales se mencionan a continuación:

- **pH (Potencial hidrogeno)**

Entre los factores que influyen para que el proceso de coagulación se dé efectivamente es el pH, el valor que le confiere depende de las partículas cargadas y la alcalinidad del agua, por otro lado, el rango de pH está íntimamente relacionado con el coagulante a emplear (Andia, 2000). Generalmente los rangos de pH en la coagulación para alcanzar la

remoción de turbidez se da en los valores de 6.5 a 7.5 unidades (Carpio, 2019). Para Fuquene y Yate (2018) si este proceso se da fuera del rango, baja la solubilidad del coagulante, aumenta la concentración de dosis así como también el periodo para estimular que los flóculos sedimenten.

Para el caso del tratamiento en aguas ácidas, según Barrenechea (2004) se ajusta el valor del pH con la adición de cal u alguna base; de igual forma si el pH del agua luego del tratamiento lo requiere, se ajustará nuevamente el pH hasta un valor que no provoque efectos de desgaste e sustancias incrustantes. Esto quiere decir, que tales efectos provocan corrosión e inducen a la formación de precipitados insolubles, los cuales se adhieren o incrustan en las partes internas de los equipos o instalaciones dificultando su mantenimiento.

- **Turbiedad**

La concentración de partículas causantes de la turbidez permiten determinar cierta cantidad de coagulante a añadir, como resultado de ello, la dosis óptima será aquella donde se obtenga la turbiedad más baja; asimismo, si existe una turbiedad alta, es más fácil llegar a coagular a comparación de una turbiedad baja, las cuales suelen traer complicaciones pues el índice de colisión entre partículas presentes es más escasa (Andia, 2000).

- **Sales disueltas**

Estas interfieren tanto en la coagulación como floculación para el tratamiento del agua, debido a que, según Andia (2000) modifican los valores de pH, así como el tiempo estimado de floculación, la cantidad de coagulante a añadir e incita a que se generen excedentes de las sustancias coagulantes luego del tratamiento.

- **Temperatura del agua**

Interfiere en la densidad del agua y con ella el movimiento de las partículas en estado de suspensión, como resultado la coagulación se realiza de forma lenta. Por ello, el tiempo de formación del flóculos

aumenta en aguas con bajas temperaturas (Samame, 2016). Según Fuquene y Yate (2018) esto obstaculiza la sedimentación debido al incremento de la viscosidad del agua, mientras que para elevadas temperaturas la energía del movimiento de estas partículas es afectada, dificultando de igual forma su precipitación.

- **Dosis del coagulante**

Para Andia (2000) la dosis de coagulante a emplear influye directamente en el transcurso adecuado de coagulación. Esta situación se debe a:

Una cantidad insuficiente de coagulante, no llega a neutralizar las cargas coloidales por tanto la formación de microfloculos es minoritaria, en consecuencia de ello la turbidez resultante es alta.

Una cantidad de saturada de coagulante conlleva a invertir la carga coloidal, por tanto se produce una mayor cantidad de microfloculos con velocidad lenta de sedimentación debido a su tamaño, lo que se traduce de igual forma a una turbidez residual alta.

El autor señala que para lograr obtener la selección y cantidad adecuada de coagulantes a emplear, se realiza ensayos a través de la prueba o Test de Jarras.

- **Concentración del coagulante**

Respecto a la concentración, el que produce mejor efecto en el proceso de coagulación generando menor turbidez resultante, es lo que se denomina la concentración óptima del coagulante dispuesto (Carpio, 2019).

- **Condiciones de mezcla y aplicación de coagulantes**

Influyen en la dispersión y homogenización del coagulante en una sustancia líquida para lograr la neutralización adecuada de cargas coloidales. Según Carpio (2019) señala que la aplicación de una mezcla

uniforme durante y después de añadir el coagulante, genera una adecuada coagulación, por tanto, se propicia la remoción de la turbidez.

- **Tipos de coagulación**

Barrenechea (2004) considera dos tipos de mecanismo predominantes para que se dé el proceso de coagulación, las cuales son:

- **Por adsorción**

Se produce por la formación de especies solubles hidrolizadas, es decir hay una reacción entre la molécula de agua y agente coagulante, estos al hidrolizarse forman iones, los cuales son adsorbidos por el coloide generando la neutralización de su carga.

Generalmente se da cuando hay elevada cantidad de materia coloidal en la solución, en otras palabras, en aguas de elevada turbidez. Debido a la cantidad elevada de partículas coloidales, la distancia entre ellas es mucho menor y la fuerza de atracción se ve aumentada. Por ello, al añadir el coagulante, el proceso de coagulación se da de forma instantánea.

En la Figura 4, se muestra la formación de flóculos formados por el mecanismo de adsorción al agregar un coagulante.

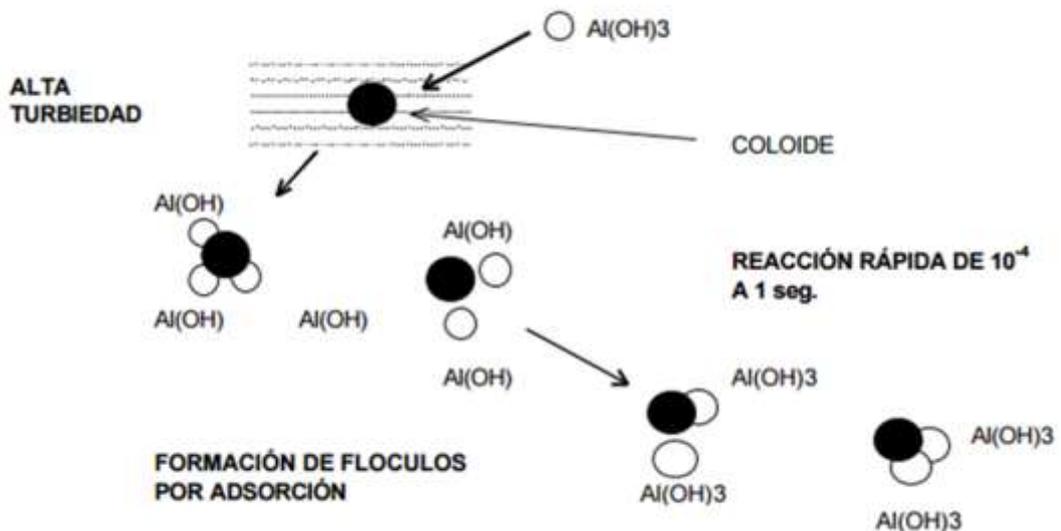


Figura 4. Coagulación por adsorción

- **Por barrido**

Se produce por la adición de agentes coagulantes en aguas de baja turbidez, provocando que las partículas coloidales sean atrapadas en conjunto hasta sedimentarse.

Generalmente se da cuando hay baja cantidad de materia coloidal en la solución, por ello, la distancia entre ellas y la fuerza de atracción es mucho mayor, por el cual se requiere necesariamente mayor suma de coagulante y energía para llegar a desestabilizarlas. En la Figura 5, se muestra la formación de flóculos por el mecanismo de barrido al añadir una dosis alta de coagulante.

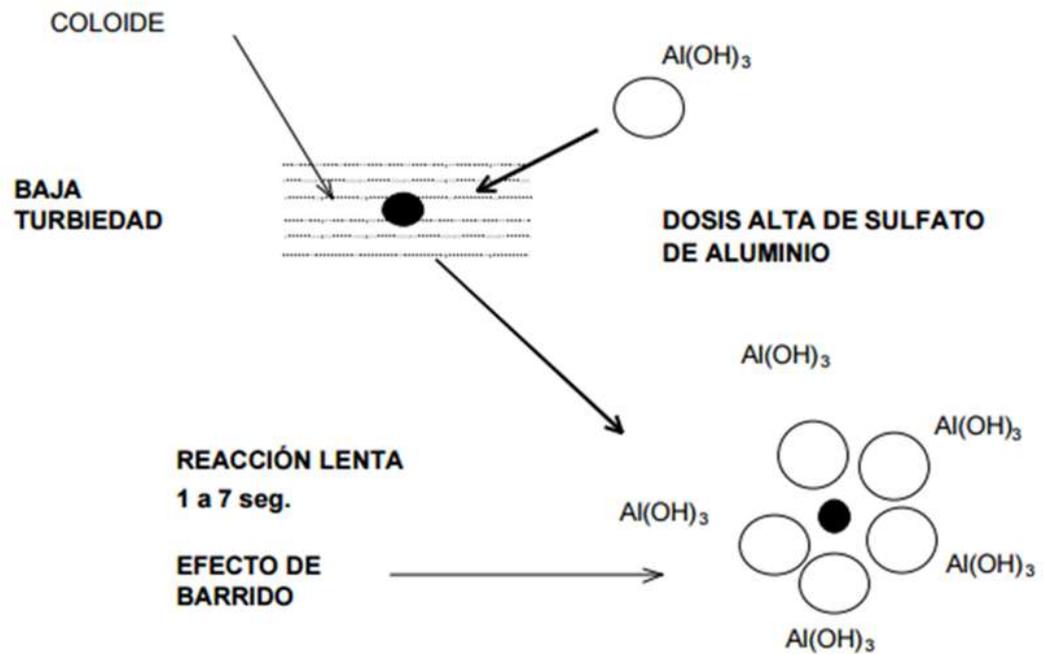


Figura 5. Coagulación por barrido

2.2.5.2 Floculación

Lorenzo (2006) señala que la floculación radica en generar la aglomeración de las partículas coloidales desestabilizadas en el proceso de coagulación, en donde ahora predomina la fuerzas Van der Waals sobre las fuerzas de repulsión, propiciando la unión entre partículas.

Con referencia a lo anterior, Castellanos (2017) alega que la fuerza de agitación que se da en este proceso es por mezcla lenta, ello con la finalidad de no romper la formación de flóculos generados y favorecer así el aumento de su tamaño y peso.

En relación con la ruptura de flóculos en la Figura 6, se muestra como se da la fragmentación del flóculo al ser sometido una fuerza de agitación rápida (Vargas 2004). Esto genera que el proceso hasta ahora formado mediante la neutralización en el proceso de coagulación, se vea afectado, y en consecuencia se obtenga una remoción pobre de materia coloidal.

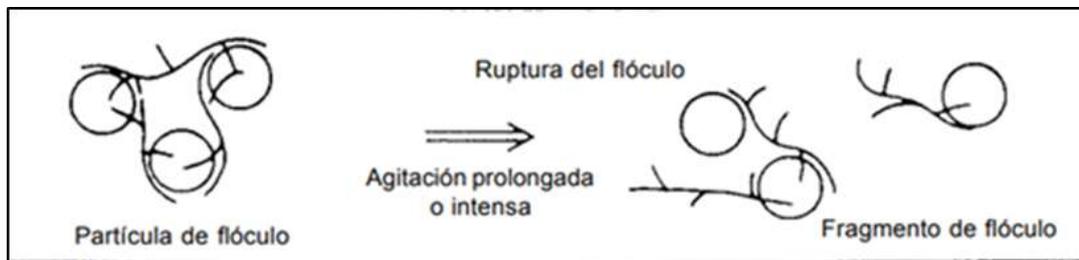


Figura 6. Ruptura de flóculo por agitación intensa

Dentro de este marco, Vargas (2004) enfatiza tres mecanismos de transporte para llegar a formación de flóculos, siendo:

- Floculación pericinética o browniana
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad
- Sedimentación diferencial

En resumen el autor manifiesta que los mecanismos de transporte inician al momento de la desestabilización de coloides, por el cual se da la

transferencias de partículas para empezar la aglutinación mediante la floculación pericinética, esto se da para que partículas coloidales menores a 1 μm logren desplazarse y aglomerarse para crear un microfloculo, cuando este llega a tener el tamaño de 1 μm se da el transporte por floculación ortocinética, empezando a generar conglomerados de mayor tamaño para finalmente sedimentar (Figura 7). Respecto a la sedimentación diferencial, se da cuando las partículas de mayor tamaño se encuentran en pleno descenso y se logran topar con partículas más chicas que se encuentran en el mismo trayecto, estos chocan y se juntan formando un mayor tamaño al inicial para seguir descendiendo.

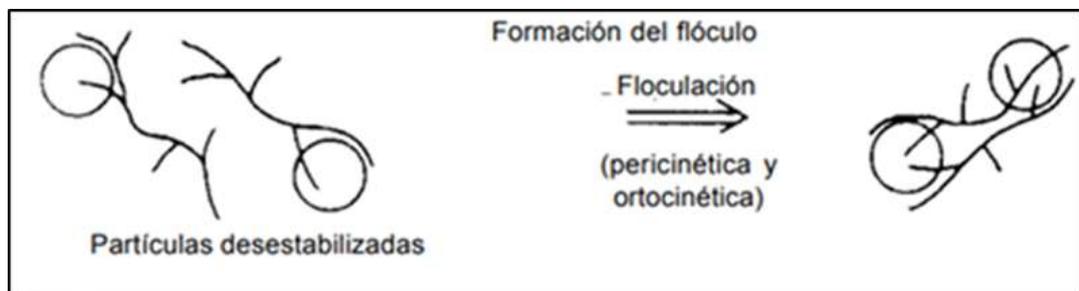


Figura 7. Formación de floculos por transporte pericinético y ortocinético

- **Factores que influyen en la floculación**

Existen ciertos factores en este proceso que interfieren en la aglomeración de partículas coloidales, de las que se tiene:

- **Naturaleza del agua**

Tiene influencia tanto para los procesos de coagulación como floculación, se encuentra ligado a las características de la alcalinidad del agua, el pH y turbiedad (Vargas, 2004). Estos suelen alterar el tiempo de formación de floculos debido a las cargas iónicas presentes, los cuales generan interferencias en la formación de cadenas poliméricas, contacto entre partículas coloidales y ecuanimidad fisicoquímica del sistema.

- **Gradiente de velocidad**

Ocurre una mayor aglomeración a mayor velocidad; sin embargo, se tiene que tener en cuenta la aplicación de velocidades adecuadas para no romper la formación de los flóculos. Vargas (2004) recomienda utilizar para estos procesos rangos de 100 a 10 s⁻¹, puesto que valores superiores traen efectos adversos a los deseados.

- **Tiempo de floculación**

El tiempo para este proceso es proporcional a la velocidad de aglomeración de partículas, si este proceso no se realiza en un tiempo adecuado los resultados son desfavorables.

Para Vargas (2004) el tiempo de floculación habitualmente oscila entre 20 y 40 minutos. Conjuntamente Andia (2000) menciona que para obtener este tiempo, es necesario realizar ensayos de laboratorio mediante el Test de Jarras.

2.2.6 Mecanismos de coagulación y floculación

Existen diferentes interacciones para Bravo (2017) entre los coagulantes y partículas de índole coloidal, sin embargo hay cuatro mecanismos importantes, las cuales son:

2.2.6.1 Neutralidad de carga

Se produce cuando el coagulante y las partículas coloidales son de cargas distintas, mayormente se da en el mecanismo de adsorción, según la literatura los efluentes de aguas residuales contienen partículas con cargas negativas, facilitando con esto la neutralidad de sus cargas (Bravo, 2017).

Generalmente, de acuerdo a López (2018) las cargas coloidales son negativas, estas constituyen las cargas primarias que atraen a las cargas positivas de las soluciones formadas por los coagulantes.

2.2.6.2 Puente polímero

Barrenechea (2004) sostiene que en el proceso de coagulación se disponen de diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, estos poseen numerosas características dependiendo de su variedad, entre ellas están las que contienen largas cadenas moleculares ionizables. Para Andia (2000) estas cadenas contienen grupos químicos, son estos los que confieren la funcionalidad de atrapar un agente coloidal (Figura 8).

Dicho de otro modo, los coagulantes con cadenas largas como los polímeros contienen una cadena extensa con espacios de carácter iónico, son estas características que les permiten adsorber las partículas en suspensión a lo largo de su molécula, actuando de este modo como un coagulante, logrando remover los coloides presentes en el agua.

Bravo (2017) señala que la efectividad de coagulación por mecanismo de puente, depende de la cantidad de dosis a emplear, ya que una sobresaturación podría revertir el proceso y una pobre dosificación ocasionaría que no se produzcan suficientes contactos de puente.

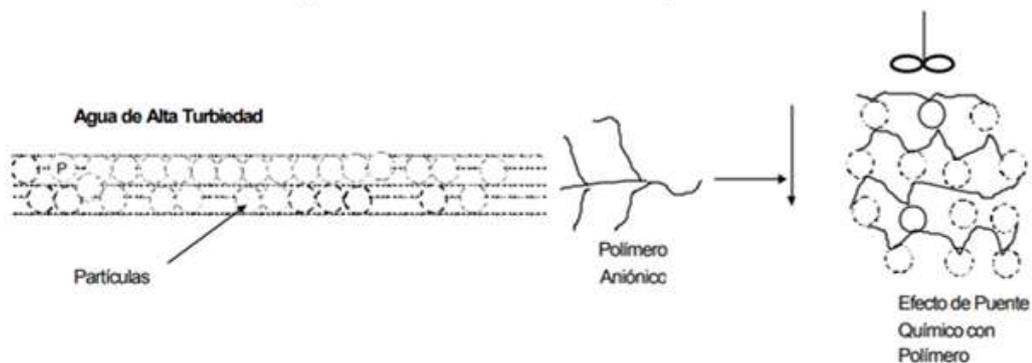


Figura 8. Efecto puente polímero

2.2.6.3 Parche electroestático

Se evidencia la formación de parches catiónicos, los cuales son originados por la atracción de un coagulante con carga catiónica (Figura 9a) y una partícula coloidal de carga aniónica (Figura 9b); para Bravo (2017) la atracción en los parches electroestáticos es generada entre los parches formados y los espacios de las superficies coloidales negativos (Figura 9c) tal como se representa en la Figura 9.

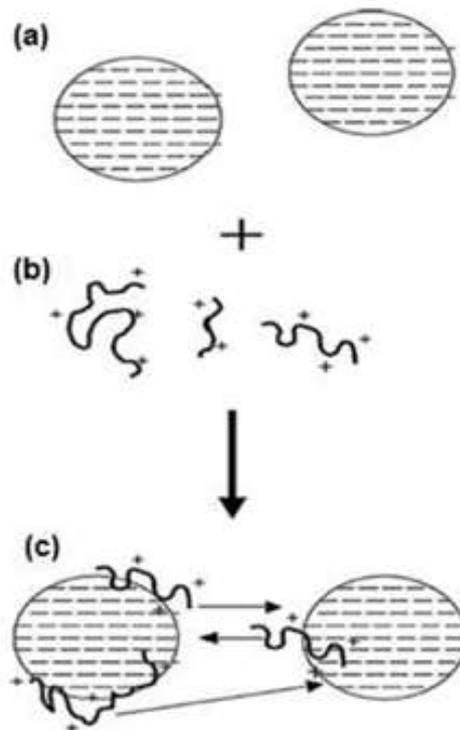


Figura 9. Parche electroestático

2.2.6.4 Mecanismo de coagulación por barrido

Este mecanismo se suele utilizar en las plantas de tratamiento de agua donde el proceso de floculación y sedimentación se da antes que la filtración (Barrenechea, 2004). Los flóculos formados en este tipo de mecanismo presentan un mayor tamaño que los originados por el mecanismo de neutralización, por tanto adquieren una mayor velocidad de sedimentación. Por otra parte, Bravo (2017) añade que el carácter de red tridimensional de la estructura de los flóculos formados, se debe al área de

su superficie y a la capacidad de adsorción, permitiendo obtener a su vez la remoción de partículas residuales.

2.2.7 Test de Jarras

Permite simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación que se dan en una planta de tratamiento de agua pero a escala de laboratorio. Nieto y Orellana (2011) ratifican que esta prueba facilita establecer sin mayor complejidad la dosis óptima de coagulante, el pH óptimo de coagulación, tiempo y la velocidad de favorecimiento en la formación de flóculos.

Fúquene y Yate (2018) agregan que el tiempo a emplear en esta prueba es de corta duración, y permite a su vez identificar el comportamiento del coagulante mediante la observación, los mismos que son corroborados por el análisis de los parámetros al final del tratamiento. A su vez, catalogan que esta prueba es una etapa significativa para el tratamiento de aguas contaminadas, ya que permiten conseguir datos a una escala menor, de modo que, puedan ser reproducidas según los resultados obtenidos a escalas mayores y reales como en el funcionamiento de una PTAR.

2.2.7.1 Mezcla rápida

Tiene la finalidad de crear el movimiento preciso de la solución para que las partículas coloidales tengan contacto con el coagulante añadido y llegar a neutralizarlas o inducir a su desestabilización (Vargas, 2004). El tiempo estimado va a depender del tipo de coagulante a utilizar, sin embargo, usualmente el tiempo y la velocidad expresada en revoluciones por minuto (rpm) están en el rango de 1 a 3 minutos y de 30 a 100 rpm (Lorenzo, 2006).

2.2.7.2 Mezcla lenta

Operativamente es recomendable realizar esta mezcla entre el rango de 3 a 15 minutos a una velocidad de 20 a 40 rpm, un tiempo superior a lo establecido puede traer como consecuencia el recalentamiento de la sustancia empleada como muestra a tratar, evitando su sedimentación (Lorenzo, 2006). Posteriormente a la mezcla lenta, se sugiere aplicar un

reposo de corto tiempo (30 minutos) para que se dé finalmente la sedimentación de los flóculos formados durante la agitación.

2.2.8 Coagulantes

Los coagulantes de acuerdo a Cogollo (2010) son sustancias usualmente químicas usadas en los procesos para el tratamiento del agua, cuya finalidad primordial es lograr la descarga las partículas coloidales y estimular la rápida formación de flóculos. Sandoval y Laines (2013) consideran que la adición de coagulantes permite remover diversas impurezas del agua en su estado coloidal, mediante la formación de conglomerados precipitantes.

Entre los tipos de coagulantes comúnmente manejados en el tratamiento del agua para mejorar su calidad o reducir su carga contaminante, se tiene:

2.2.8.1 Coagulantes químicos convencionales

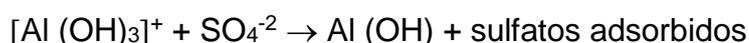
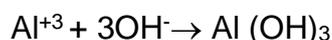
- **Coagulantes metálicos**

Son coagulantes a bases de sales metálicas, empleadas habitualmente para el proceso de coagulación, estos a su vez se sub dividen en hierro y aluminio (Linchtouse, et al., 2019). Por ello, el coagulante utilizado en el presente trabajo es el sulfato de aluminio, por ser uno de los más comunes para el tratamiento del agua.

- **Sulfato de aluminio**

Conocido comúnmente como alumbre hidratado $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ en la descripción que señala Broncano y Rosario (2017). Según Barrenechea (2004) es una sal proveniente del hidróxido de aluminio y ácido sulfúrico, por esto su solución acuosa varía entre 2 y 3.8 unidades de acidez, razón por la cual su manejo debe de ser realizado con cuidado y ser preservado en lugares seco exentos de humedad. Al respecto, Medina (2018) describe que este compuesto químico es destinado para diversos tratamientos tanto como para agua residual, como para agua destinada al consumo humano (agua potable), en la manufactura de las industrias químicas e industrias farmacéuticas, etc.

De acuerdo a Samame (2016) este coagulante químico se disocia en el agua formando iones de aluminios y sulfatos, en ambos derivados ocurren reacciones que permiten la coagulación de elementos coloidales, tal como se muestra en la siguiente reacción:



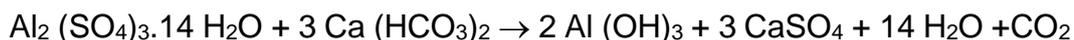
El Al^{+3} formado permite la neutralizar las cargas negativas de partículas coloidales y a su vez reacciona con el hidroxilo del agua formando el hidróxido de aluminio, es este el que permite formar una solución positiva en el agua para anular las cargas negativas que conllevan los coloides presentes. La demasía generada de solución de hidróxido de aluminio se logra eliminar por la interacción con los iones de sulfatos y de partículas negativas.

De esta manera, se afirma que los coagulantes basados en aluminio o hierro tienden a reaccionar de forma rápida con las moléculas del agua, logrando la formación de iones metálicos e hidrógenos, donde las partículas coloidales negativas adsorben a los iones generados neutralizando su carga y propiciando la coagulación (Samame, 2016).

Para Murillo (2011) cuando el sulfato reacciona con el agua, se refleja una serie de transformaciones entre su alcalinidad y los diferentes iones que se encuentran dispersos mediante procesos de descomposición como la hidrolisis y polimerización. Usualmente el sulfato de aluminio se encuentra hidratado y al estar disuelto se halla hidrolizado, es decir su estructura se modifica por acción del agua convirtiéndose en $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+3}$, este compuesto formado dona protones actuando como un ácido. Generalmente el aluminio hidratado reacciona con la basicidad

del agua, produciendo un descenso brusco en el pH, es así que los iones de aluminio hidratados logran aprensar a las partículas coloidales logrando la neutralización de cargas.

La siguiente reacción es producida por la alcalinidad del agua al añadir sulfato de aluminio a los procesos dados en el tratamiento del agua:



Samame (2016) refiere que la molécula de CO_2 desprendida de la reacción, suma a que se incremente la acidez del agua, conjuntamente la formación del sulfato de calcio ocasiona desventajas para la remoción de la dureza, es decir evita la eliminación de minerales disueltos.

Por otro lado, Bravo (2017) sostiene que este coagulante metálico, utilizados para el tratamiento de aguas y aguas residuales produce excesivos lodos de dificultosa desecación, además de ello, presenta alta sensibilidad al pH del agua a tratar, logrando afectar su capacidad de remoción.

Para lograr una mayor efectividad en la remoción de turbidez empleando el sulfato, Barrenechea (2004) menciona utilizar entre el 1 a 2% de concentración, ya que valores inferiores muestran baja remoción coloidal. Barajas y León (2015) consideran que el rango apropiado de pH para el proceso de coagulación se da entre los valores comprendidos de 5.5 y 8 unidades. En cuanto a Chalco (2016) aclara que si el proceso de coagulación para este compuesto químico se realiza fuera del intervalo adecuado de pH, la extracción de la turbidez que se da es mínima, además de generar con ello la solubilidad del aluminio. Por consiguiente, al ocasionar la solubilidad de este químico trae consigo efectos perjudiciales de índoles ambiental y material.

Lichtfouse et al. (2019) menciona que los principales inconvenientes ocasionados con el uso de este agente aluminico, es la producción de lodos tóxicos por la baja biodegradabilidad que presentan. Estos lodos a su vez involucran aspectos económicos para realizar su adecuada disposición, por otra parte se encuentra la presencia de metales remanentes en el agua al final del tratamiento, lo que provoca la corrosión de equipos y tuberías.

En relación a la presencia residual de metales al final del tratamiento empleando sulfato de aluminio, se reporta según estudios neurotoxicológicos que estos están relacionados con problemas neuronales. Martyn et al. (1989) señala que el aluminio residual en las plantas de potabilización puede provocar o inducir a largo plazo trastornos progresivos asociados a la pérdida de memoria conocida como la enfermedad de alzheimer. Por otro lado, Medina (2018) manifiesta que la concentración de Al^{+3} tiene repercusiones en el suelo, como consecuencia genera estrés en los cultivos, pues inhibe el crecimiento radicular impidiendo que estas tengan capacidad de adsorber agua y nutrientes.

Pese a las desventajas que trae consigo el uso de este coagulante químico, es mundialmente utilizado para el tratamiento del agua y agua residuales, debido a que remueve partículas coloidales en aguas de alta y baja turbidez; sin embargo, crea inconvenientes en los sistemas operativos de las instalaciones de la planta de tratamiento si estos no reciben un adecuada manipulación en su uso como coagulante (James y O'Melia, 1982). Cabe mencionar, que los países en vías de desarrollo suelen importar agentes químicos para los procesos de coagulación y floculación para el tratamiento del agua, siendo el sulfato de aluminio el más comercializado (Díaz, 2014).

- **Polieléctrolitos**

Son monómeros enlazados orgánicos sintéticos de cadenas largas, operan eficientemente en varios rangos de pH, razón por la cual son utilizados junto a los coagulantes metálicos (Guzmán, Villabona, Tejada y García, 2013). Por la carga que suelen tener se clasifican en:

- **Catiónicos:** Estos coagulantes actúan mucho mejor a un pH bajo. Se encuentran conferidos con carga positiva, que en contacto con el agua resulta la creación de aniones, lo que le permite remover partículas de carga negativa.
- **Aniónicos:** Actúan eficazmente en pH altos, por tener carga negativa permite remover partículas de carga positiva.
- **No iónicos:** Estos coagulantes son de carga neutra, al tener contacto con el agua forman aniones y cationes, por ello se emplea con dosis mayores para obtener la remoción de partículas.

El uso de coagulantes químicos convencionales si bien es cierto genera resultados satisfactorios para la clarificación del agua, trae consigo dificultades operativas que involucran costos altísimos, desde la adquisición de insumos como la disposición de lodos resultantes, además de la modificación del pH del agua tratada, dando como adicional a ello, la utilización de cal para contrarrestar la acidez generada. Debido a estos inconvenientes o diversos puntos frágiles que involucran riesgos correspondientes a su manipulación, presenta la real preocupación de poder evitar la toxicidad que se puede producir como contaminación secundaria al final del tratamiento empleando este tipo de coagulante.

2.2.8.2 Coagulantes naturales

Son coagulantes de origen orgánico, extraídos por lo regular de las plantas pero también de sustancias de origen animal. Son aprovechados como alternativa frente al uso de los coagulantes químicos convencionales para el tratamiento del agua.

Por las características que presentan, ofrecen más viabilidad para ser manipulados, por ello suelen emplearse como coadyuvantes de coagulantes químicos reduciendo la cantidad de este. Por ser de origen natural, mediante estudios y pruebas de ensayos se puede determinar si la planta autóctona de algún lugar en específico es un potencial coagulante para el tratamiento del agua, resultando de gran ayuda a varias comunidades donde el empleo y adquisición de coagulantes químicos para obtener agua descontaminada se vuelve un desafío.

Desde el punto de vista ambiental según Nieto y Orellana (2011) especifican que los coagulantes naturales confieren ciertas características como la biodegradabilidad, compatibilidad ambiental, inocuidad, diversidad y eficiencia. Es decir, el uso de estos coagulantes de origen natural pueden ser manejados, adaptados, encontrarse en la propia naturaleza y ser empleados de forma eficiente para cumplir con el propósito de la extracción de impurezas del agua.

López (2018) refiere que los coagulantes de origen natural pueden ser destinados para el tratamiento convencional de potabilización y tratamiento de aguas residuales. La reacción de estos coagulantes orgánicos con las partículas coloidales es similar a los coagulantes químicos convencionales, logrando aglomerar las partículas en suspensión para facilitar la sedimentación, reduciendo por consecuencia la turbidez, ya que este es uno de los parámetros con los que se analiza la eficiencia de un coagulante. Además, señala que los coagulantes naturales confieren propiedades antimicrobianas.

Gutiérrez (2019) destaca que los coagulantes provenientes de la papa, yuca, cactus, maíz y trigo, son elementos naturales que paulatinamente están siendo empleados en Latinoamérica para el tratamiento del agua. Guzmán et al. (2013) indica que el estudio y uso de estas nuevas alternativas ambientalmente amigables minimiza la importación de coagulantes químicos.

En cuanto a los beneficios, los coagulantes de origen orgánico ofrecen ventajas a comparación del uso del sulfato de aluminio, de entre ellas se tiene:

- Permite utilizar menos dosis, pues según la literatura los coagulantes naturales tienen un efecto similar a los coagulantes metálicos en dosis menores.
- Genera menor producción de lodos, siendo estos de naturaleza biodegradable por el cual se minimiza el costo u operaciones para la disposición final a comparación de los lodos originados por el sulfato de aluminio.
- Permite reducir la dosis del sulfato de aluminio al utilizarse como coadyuvantes de coagulación.

El empleo de coagulantes naturales permite conservar y proteger los recursos hídricos, pues renuevan las formas de tratamiento convencional del agua. Alvarado (2011) recomienda que las plantas de tratamiento necesitan renovar e introducir cambios en sus procesos más allá del tipo de agua que se trata, del tamaño de la planta y de la tecnología con la que operan, pues de esta manera se afianza su continuo mejoramiento de sus procesos en la obtención del agua tratada.

Por consiguiente, renovar las formas del tratamiento de agua residuales abre diversas oportunidades para contrarrestar los efectos del cambio climático y la protección de nuestros diversos ecosistemas (WWAP, 2020).

- **Cáscaras de *Solanum tuberosum***

- **La papa**

La papa se cultiva hace más de 5 5000 años, siendo la región el altiplano cuna de las grandes variedades existentes hasta la actualidad (Herrera, 2019). Camacho et al. (2020) menciona que es uno de los cultivos de mayor trascendencia en el mundo, se estima además su siembra en más de 150 países, llegando a una obtención de 330 millones de toneladas. Para Jerez y Martín (2012) a través de este tubérculo se consigue alimento en un lapso breve de tiempo, por ello su consumo es masivo, siendo el cuarto cultivo de mayor producción a nivel mundial.

Respecto al plano nacional, herrera (2019) enfatiza que el Perú es el catorceavo país a nivel mundial en el rendimiento productivo de papa, posicionándose en Latinoamérica como el mayor productor; señala además que en el 2017 los departamentos que produjeron más este tubérculo fueron Arequipa con 34.7 t/ha (toneladas por hectáreas), Ica con 32.5 t/h y la región de Lima con 28.2 t/h. A su vez Chalco (2016) destaca que en el Perú se alberga la más grande variedad de papas existentes, contando con 8 especies oriundas y una diversificación de 2 301 de las 4000 papas existentes en América Latina.

- **Almidón**

Es un polisacárido comprendido por moléculas de hexosas presentes especialmente en los tubérculos. Chalco (2016) agrega que son fuentes de reserva energética, el cual está representada por largas cadenas de $(C_6H_{10}O_5)_x$, donde "x" corresponde a considerables valores produciendo su extensividad. Para Medina (2018) la presencia del almidón se localiza en granos de semillas, raíces y tubérculos como papa, yuca y ribosomas de las plantas.

Por otro lado, se encuentra químicamente constituido por la amilosa y amilopectina, ambas compuestas por moléculas de glucosa, donde la amilosa se halla unida mediante enlace α 1-4, el cual le propicia una

estructura lineal, mientras que la amilopectina con enlace α 1-6 le confiere una distribución ramificada (Chalco, 2016). Al respecto, Medina (2018) menciona que la proporción de amilosa y amilopectina presentes en diversos productos es variable, sin embargo generalmente la amilosa representa un aproximado del 20% de almidón habitual siendo la parte soluble y la amilopectina el 80%, siendo esta la porción insoluble. De acuerdo a lo mencionado, en la figura 10 se visualiza la estructura del almidón representada por Angeles (2015) en ella se observa la cadena lineal (amilosa) y la formación de ramificaciones (amilopectina) que en su totalidad constituyen el almidón.

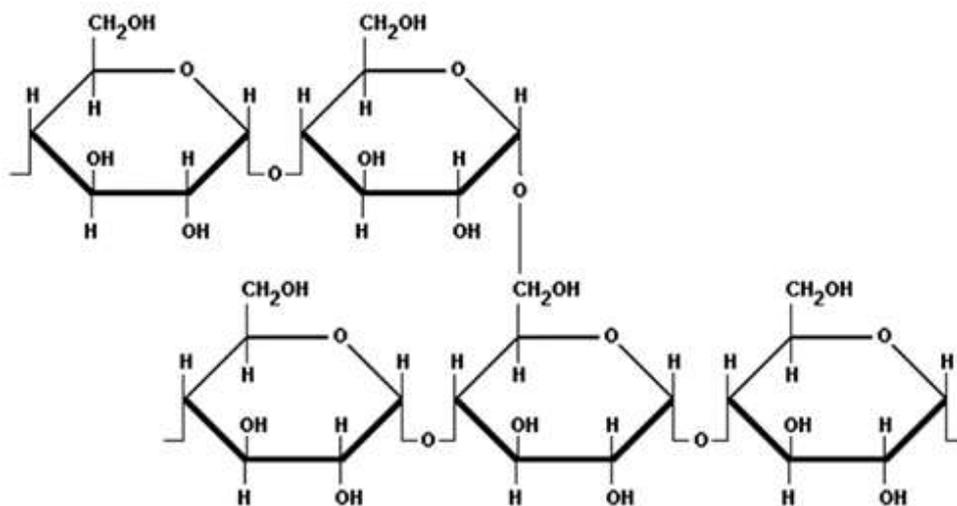


Figura 10. Estructura del almidón

Carrasquero et al. (2017) describe que por cada molécula de amilosa existe un aproximado de 25 a 2500 moléculas de glucosa, y para el caso de la amilopectina entre 300 a 6000 monómeros de glucosa correspondientes de 15 a 300 ramificaciones.

En cuanto a los usos del almidón, por sus características son empleados en la industria alimentaria, textil, industria papelera y tratamiento del agua, beneficiando en este último la reducción de la toxicidad generada por agentes químicos (Medina, 2018). Respecto a su empleo para el

tratamiento del agua, Hurtado y Yarleque (2017) señalan que el almidón por estar fuertemente estructurado por polímeros, estos le permiten capturar las partículas coloidales presentes en el agua, otorgando un comportamiento de agente coagulante a este polisacárido.

- **Caracterización de las cáscaras de papa**

Quino (2020) caracterizó las cáscaras de papa que utilizó en las pruebas de coagulación y floculación, logró hallar la humedad, lípidos y cenizas promedios, los cuales están representados en la Tabla 1.

Tabla 1

Caracterización de las cáscaras de
Solanum Tuberosum

Parámetros	%
Humedad promedio	72.91
Lípidos promedio	1.08
Cenizas promedio	1.1

- **Variedad INIA 303 – Canchán**

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2012) señala que el Perú siembra alrededor de 300 000 hectáreas de papa, del cual el 40 % pertenece a la variedad INIA 303 - Canchán, dando un aproximado de 120 000 hectáreas anuales.

El rendimiento promedio aproximado nacional de papa en su totalidad es de 13.3 t/ha, alcanzando a un nivel de productores de hasta 30 t/ha en relación a esta variedad. Según Chalco (2016) la papa Canchán es una variedad aceptable para la extracción de almidón debido a la abundancia de este en su composición.

En la Figura 11 y Tabla 2, se muestra y se describe las características de la papa variedad Canchán, cuyas cáscaras fueron utilizadas para el presente trabajo de investigación, ya que el almidón presente en el

tubérculo y las características que se le atribuye a este polisacárido mencionado anteriormente, presentan una alternativa para el tratamiento del agua.

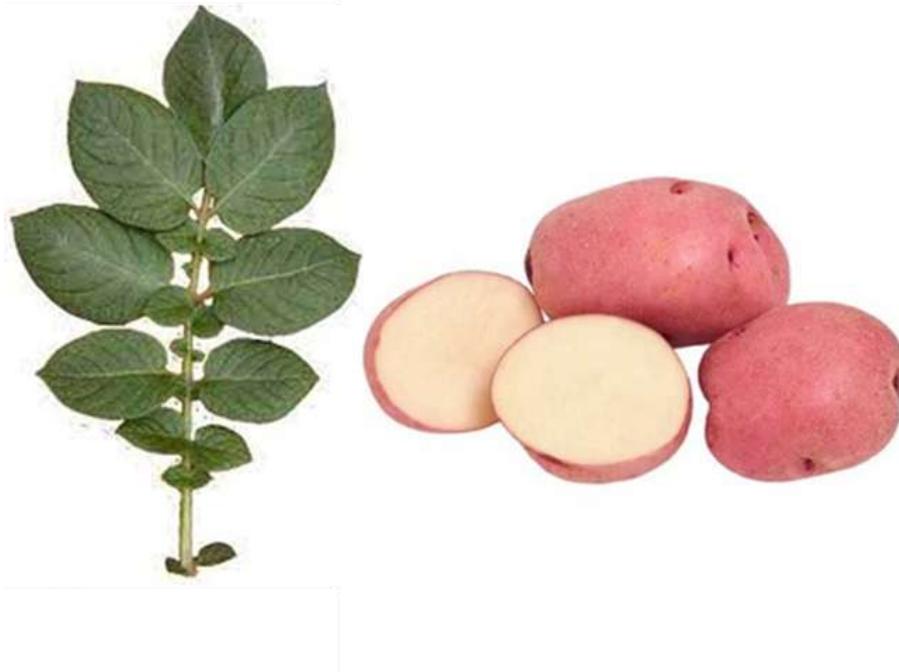


Figura 11. Solanum tuberosum variedad Canchán

El INIA (2012) señala que la principal utilidad destinada a la papa Canchán es para la fritura, por ello su manejo especial en pollerías y en establecimientos de comida. Por otra parte, esta variedad es una de las predilectas para el consumo a nivel nacional. Esto nos da un alcance sobre la cantidad de consumo que se realiza de este tubérculo y la cantidad de cáscaras que desecha, las cuales no se les confiere habitualmente algún valor; sin embargo, en las últimas investigaciones se ha registrado su uso efectivo como coagulante de origen natural para el tratamiento del agua, lo que conlleva a dar una valorización a este residuo.

Para Broncano y Rosario (2017) las cáscaras de papa contienen abundante almidón y además son consideradas de textura excelente a comparación del almidón de trigo y maíz, ya que estas presentan mayor viscosidad. Se registra que la fibra situada en la piel de este tubérculo representa entre 1 a 2% de su totalidad.

Tabla 2

Descripción de *Solanum tuberosum* – Variedad Canchán

Características	Calificación / Valor
Altura media	90 cm
Numero de tallos	4 a 6
Color de Tallo	Verde claro
Tamaño de hoja	Mediano
Color de hoja	Verde claro
Color de Flor	Lila de escasa floración
Bayas	Escasa
Raíz	Buen desarrollo, con estolones cortos
Periodo vegetativo	120 días
Tubérculo	Redondo
N° de tubérculos	14 a 15
Tamaño	Mediano a Grande
Color de piel	Rojo
Color de pulpa	Blanco
Materia seca	25%
Peso específico	1.1

Valores obtenidos por el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA

Por lo señalado, se optó en utilizar como coagulante natural las cáscaras de esta variedad de papa, ya que de acuerdo a los estudios expuestos la variedad Canchán es una de las más utilizadas en el ámbito nacional, el cual da un alcance de la cantidad de cáscaras que se puede desechar de los establecimientos de comida u hogar. Esta variedad de papa destaca además por tener en su composición reserva abundante de almidón, siendo este polisacárido, el que suele atribuir mayormente a las cáscaras de papa propiedades específicas para el tratamiento del agua. Todo ello permite poder obtener una opción de coagulante natural con similares funciones a las de un coagulante químico pero a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos, como en este caso el uso de las cáscaras de la papa Canchán.

2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS

- **Amilosa:** Molécula cuya estructura forma cadena lineal no ramificada adquiere una tridimensión helicoidal, en su interior se encuentran los hidrógenos y en la parte exterior los grupos hidroxilos, es soluble e hidrolizable.
- **Amilopectina:** Molécula cuya estructura forma cadenas ramificadas, en relación al tamaño respecto a la amilosa es mucho más grande e insoluble en el agua, están compuestas además por varias moléculas de glucosa.
- **Bacterias heterótrofas:** Son bacterias anaerobias o microorganismos que necesitan para su desarrollo fuentes de carbono, por el cual ellos mismos lo sintetizan.
- **Decantación:** Proceso o método físico para separar mezclas compuestas ya sea sólido o líquido de distintas densidades.
- **Flóculos:** Conjunto o masa de materia orgánica acumulada de características gelatinosa, originada de manera natural o inducida por compuestos químicos.
- **Fuerzas de Van der Waals:** También llamadas fuerzas de Keesom, son fuerzas de estabilización molecular, es decir confieren la estabilidad entre la unión de moléculas.
- **Partículas coloidales:** Partículas responsables de la turbidez y color del agua, se encuentran dispersas, y para generar que se aglomeren se requiere de compuestos químicos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL

La investigación se desarrolló en el laboratorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ubicado en el cruce de la Av. Central con Av. Bolívar cuyas coordenadas de ubicación son $12^{\circ}12'50.90''S$ y $76^{\circ}55'57.60''W$ (Figura 12) y en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales denominado “PTAR Juan Velasco Alvarado” ubicado en la Avenida Juan Velasco Alvarado cruce con la Av. Mariano Pastor Sevilla (ruta “C”), cuyas coordenadas de ubicación son $12^{\circ}12'47.60''S$ y $76^{\circ}56'53.30''W$ (Figura 13). Ambos lugares ubicados dentro del distrito de Villa El Salvador, el cual cuenta con 423 887 habitantes (INEI, 2020).

Los meses enmarcados para el desarrollo del presente trabajo fue durante los meses de agosto a diciembre del 2020.

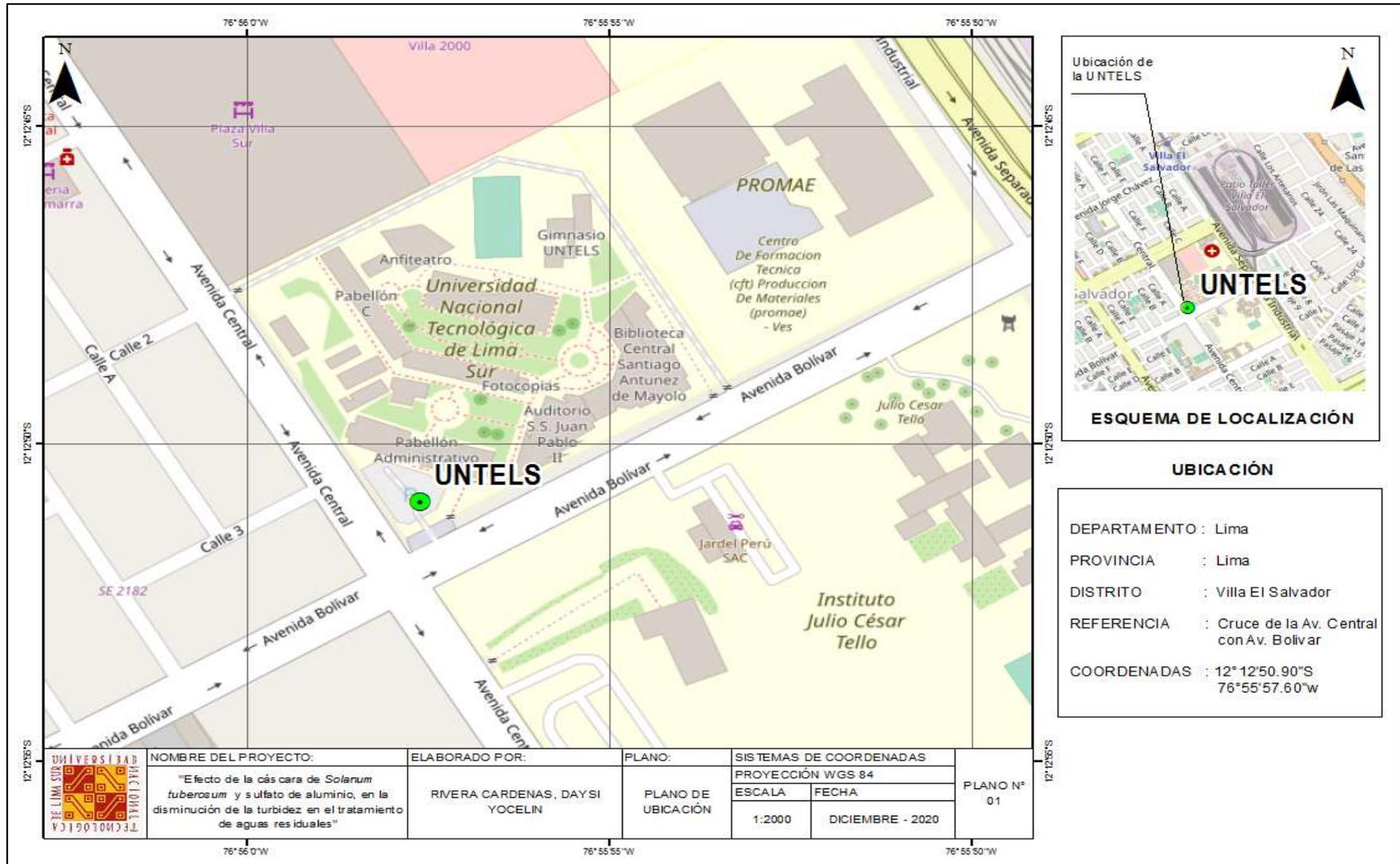


Figura 12. Plano de Ubicación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur

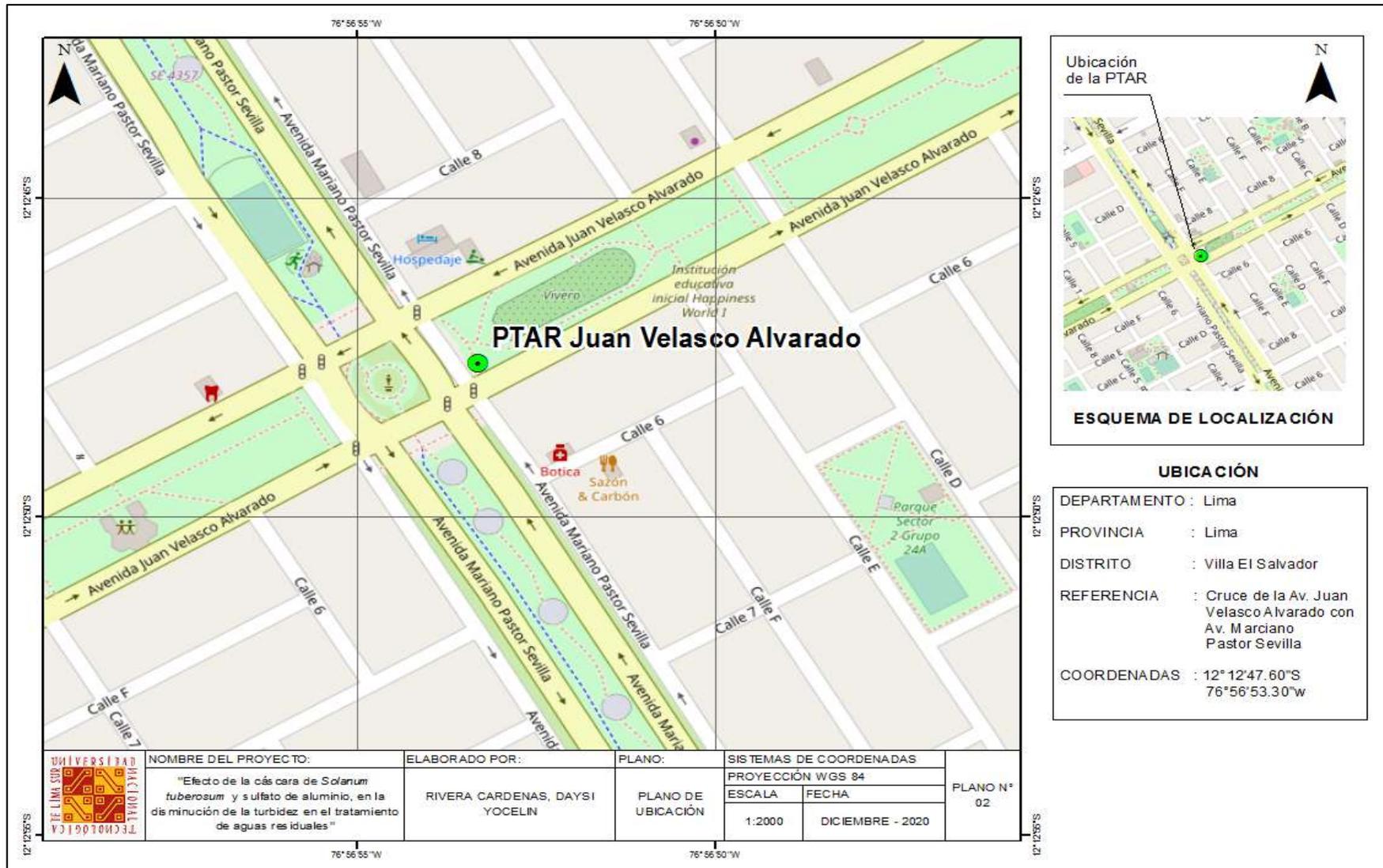


Figura 13. Plano de Ubicación de la PTAR Juan Velasco Alvarado

3.2 DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

La turbidez es uno de los parámetros que alteran la calidad del agua y se encuentra ligada a la de presencia de partículas coloidales de origen orgánico y mineral. Estas partículas son indicadores de agentes contaminantes, estimulan la reproducción de bacterias, parásitos y microorganismos que deterioran la calidad del agua y crean a su vez interferencias en el tratamiento de este recurso, pues por sus características singulares se encuentra en estado de suspensión, cuya duración suele pasar de días, meses y años. Para lograr eliminar y reducir la presencia de estos coloides en el agua, se emplea el uso de coagulantes convencionales de origen químico como el sulfato de aluminio, que si bien es cierto cumple el propósito de eliminar estas partículas, representan al mismo tiempo riesgos y desventajas, de entre ellas, su relación con la enfermedad del Alzheimer, los residuos metálicos que depositan en el agua al no ser manejados adecuadamente, la toxicidad de lodos generados, el aumento de acidez luego del tratamiento así como los costos elevados de su adquisición. Por ello, surgen nuevas investigaciones para poder reemplazar o disminuir el uso de este coagulante químico por coagulantes de origen natural, de los cuales se ha evidenciado que presentan el mismo comportamiento de acción coagulante en la remoción de contaminantes, además de esto, se obtienen ventajas en el tratamiento desde su viabilidad económica, fácil obtención y manejo, representando una alternativa factible para el tratamiento del agua.

En la presente investigación se busca aprovechar las cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa), ya que en la actualidad no se les confiere algún tipo de valor y en su mayoría son desechadas o escasamente empleadas para la elaboración de compost. Por otra parte, según los antecedentes se atribuye a las cáscaras de este tubérculo poder coagulante, razón por la cual en esta investigación se propone utilizar las cáscaras de *Solanum tuberosum* como agente coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales, y compararlo con el coagulante químico convencional sulfato de aluminio, para evaluar así, su efectividad en la disminución de la turbidez.

3.3 MODELO DE SOLUCIÓN PROPUESTO

3.3.1 Materiales

- Fiolas de 1000 ml
- Pipetas de 10 ml
- Auxiliares de pipetas
- Probetas de 1000 ml
- Probetas de 50 ml
- Morteros
- Vasos Beaker
- Piseta
- Agua destilada
- Galoneras de 20 L
- Baldes de 20 de L
- Jarra de plástico
- Cinta adhesiva
- Papel tissue
- Reloj
- Plumón
- Lapicero
- Cuaderno de apuntes

3.3.2 Reactivos

- Solución del polvo de cáscara de *Solanum tuberosum*
- Solución de sulfato de aluminio

3.3.3 Equipos

- Turbidímetro
- pH- metro
- Test de Jarras
- Balanza analítica
- Estufa de esterilización
- Plancha de agitación
- GPS

- Cámara fotográfica

3.3.4 Indumentaria de protección

- Mameluco
- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de látex descartables
- Mascarilla descartable
- Protector facial

3.3.5 Población y muestra en estudio

En la ejecución del tratamiento, se recolectó 30 litros de agua residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado (Figura 14) del distrito de Villa El Salvador, el cual trata aguas residuales de origen doméstico.



Figura 14. Aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado

3.3.6 Procedimiento experimental

a. Muestreo del agua residual de la PTAR de Villa El Salvador

- Se procedió a realizar el muestreo del agua residual 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. Por tal, se empezó por ubicar el área de monitoreo seleccionado, luego mediante el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) se registró las coordenadas, la fecha, y la hora en que fueron tomadas las muestras. Cabe señalar que el área de la toma de muestra, los equipos, materiales empleados, la medición de los parámetros en campo, los cuidados respectivos para recolectar las muestras y registro de información correspondientes, fueron realizados de acuerdo al protocolo mencionado con la finalidad de obtener muestras lo más representativas del afluente de la PTAR.
- El área del muestreo se realizó en la zona del afluente (Figura 15), ubicada después de la zona de cribado (rejas).



Figura 15. Zona del afluente

- Se realizó la lectura del pH y la temperatura como parámetros de medición en campo según la norma anteriormente señalada (Figura 16). Para ello se recolectó una muestra simple en un recipiente de plástico previamente acondicionado y enjuagado tres veces.



Figura 16. Toma de medida en campo de pH y T°

- Se empezó a recolectar muestras simples de agua residual (Figura 17) con la ayuda de una jarra de plástico, posteriormente se vació en dos galoneras de 20 litros de capacidad, ambos materiales fueron previamente enjuagadas con la misma agua residual a fin de evitar la contaminación cruzada. Para ejecutar el experimento se necesitó un volumen aproximado de 30 litros de agua residual.
- Las muestras de agua recolectada, fueron conservadas en una caja térmica, para luego ser transportadas al laboratorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS), lugar donde se realizó la toma de medida inicial de la turbidez y pH antes de proceder con el tratamiento, esto con la finalidad de tener una línea base y analizar los datos resultantes luego del experimento para evaluar así el efecto alcanzado.



Figura 17. Toma de muestra del agua residual de la zona del afluente

b. Preparación del polvo de la cáscara de *Solanum tuberosum*

- Se utilizó como materia prima las cáscaras de papa de la variedad Canchán (Chalco, 2016). Para la preparación del coagulante de *Solanum tuberosum*, se adaptó el método empleado por Carrasquero et al. (2017).
- Se recolectó aproximadamente 1 kg de cáscaras de *Solanum tuberosum* variedad Canchán (Figura 18), seguidamente se procedió a retirar todo rastro de tierra que pudiera estar adherida con abundante agua, luego de ello se procedió a escurrir por unos minutos.



Figura 18. Cáscaras de Solanum tuberosum

- Se procedió a deshidratar las cáscaras de papa mediante una estufa a 100 C° por 24 horas (Figura 19).



Figura 19. Cáscaras de Solanum tuberosum deshidratadas

- Terminado el secado, se realizó la molienda y tamizado de las cáscaras de papa. Para ello se utilizó un molinillo manual y un tamiz N° 40 (Figura 20).
- Finalmente el polvo fue almacenado en una bolsa de papel e introducido en un recipiente de plástico para evitar la entrada de humedad.



Figura 20. Polvo de cáscara de *Solanum tuberosum*

c. Preparación de la solución coagulante de la cáscara de *Solanum tuberosum*

- Se preparó una solución al 1% (Barrenechea, 2004), para ello se agregó 10 g del polvo en 1000 ml de agua destilada.
- Esta solución se agitó por un espacio de 30 minutos (Figura 21), a fin de obtener una mezcla homogénea (solución madre). Luego fue vertida a una probeta de 1000 ml. Las dosis determinadas fueron de 200 mg/L, 250 mg/ L y 300 mg/L, a partir de estos valores se retiró los volúmenes a utilizar.



Figura 21. Agitación de la solución madre de cáscaras de Solanum tuberosum

- Se procedió a retirar los volúmenes de cada dosis, los cuales fueron añadidas en probetas de 50 ml (Figura 22), para luego ser vaciadas a los tres primeros recipientes de la prueba de jarras.



Figura 22. Separación de dosis de la solución madre de Solanum tuberosum

d. Preparación de la solución coagulante de sulfato de aluminio

- Para obtener las mismas condiciones experimentales, se realizó de igual manera una solución al 1%, para ello se agregó 10 g de sulfato en 1000 ml de agua destilada.
- Se agitó por un tiempo estimado de 30 minutos, con la finalidad de obtener una solución homogénea (solución madre), posteriormente fue vaciado a una probeta de 1000ml. Las dosis determinadas para el sulfato de aluminio fueron también de 200 mg/L, 250 mg/L y 300 mg/L.
- Se procedió a retirar los volúmenes de cada dosis determinada, las cuales fueron añadidas a probetas de 50 ml (Figura 23), para luego ser vaciadas a los tres últimos recipientes de la prueba de jarras.



Figura 23. Dosis separadas de ambas soluciones para el tratamiento

e. Homogenización y análisis inicial de la muestra de agua residual

- Se procedió a homogenizar la muestra de agua residual recolectada. Para ello se vació la muestra en baldes de capacidad de 20 L y se removió con la

ayuda de un palo de madera por espacio de 3 minutos con el propósito de obtener una mezcla uniforme.

- Se analizó los parámetros iniciales de turbidez y pH, empleando para ello el turbidímetro y multiparámetro.

f. Prueba de coagulación – Test de Jarras

- Se procedió a retirar 1L de agua residual homogenizado y se vertió en cada jarra del equipo, tal como se muestra en la Figura 24.

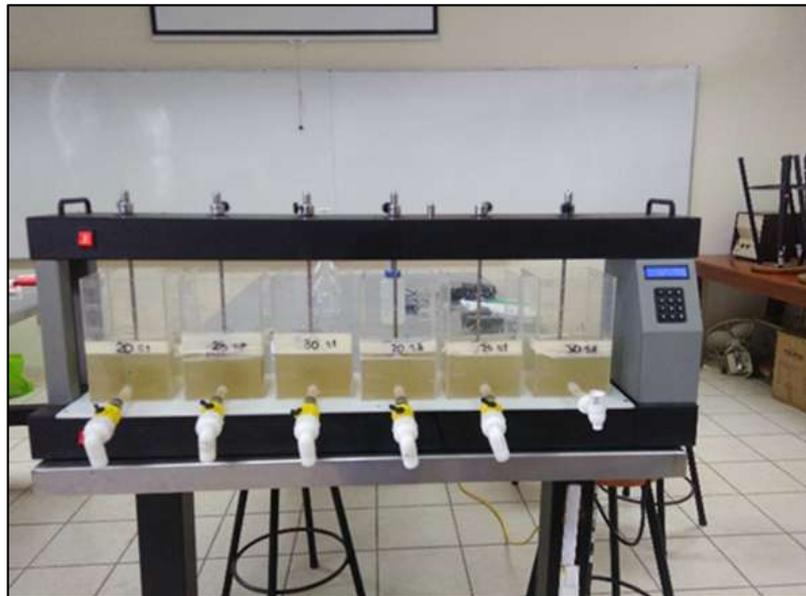


Figura 24. Muestras de agua residual antes del tratamiento

- Se vació los volúmenes de las dosis tanto del *Solanum tuberosum* y del sulfato de aluminio separadas anteriormente a cada una de las jarras en el orden mencionado, es decir, los tres primeros recipientes con las dosis del coagulante natural y los tres restantes con dosis del coagulante químico.
- Se programó la velocidad, tiempo de mezcla rápida, lenta y reposo teniendo en cuenta las recomendaciones de Lorenzo (2006) y en base a los antecedentes.

- Se dispuso una velocidad rápida de 100 rpm por 1 minuto. Concluido el tiempo se programó simultáneamente una velocidad lenta de 40 rpm durante 15 minutos.
- Se aplicó un tiempo de reposo por el espacio de media hora una vez culminada la programación de las velocidades (Figura 25).

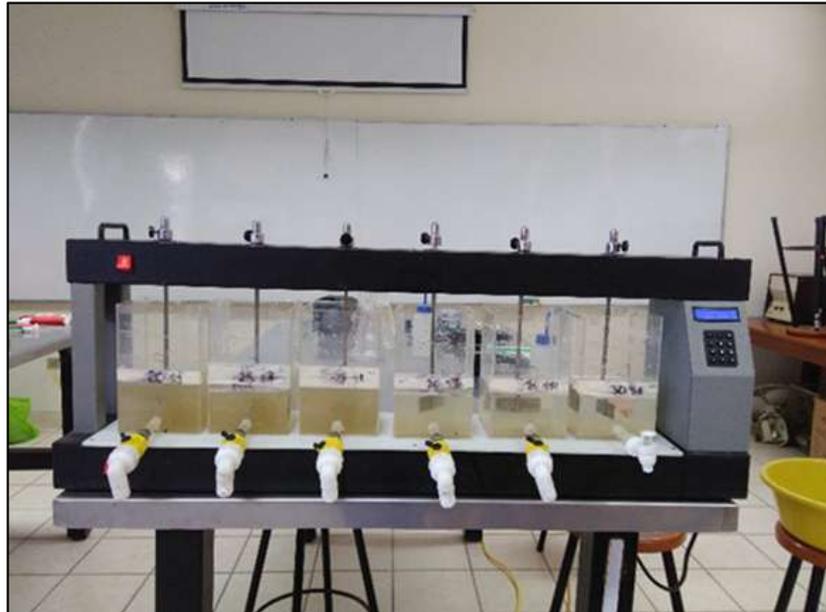


Figura 25. Muestras de agua residual luego del tratamiento

g. Análisis final de la muestra de agua residual tratada

- Se procedió a retirar alícuotas de 100 ml de cada uno de cada una de las jarras del equipo luego de haber culminado el tiempo de reposo, teniendo el cuidado de no levantar lo sedimentado (Figura 26 y 27).
- Finalmente se analizó los parámetros de turbidez de cada tratamiento y sus repeticiones (Figura 28).



Figura 26. Obtención de alícuotas



Figura 27. Alícuotas separadas para el análisis final



Figura 28. Análisis final de turbidez

3.3.7 Tratamiento y diseño de la investigación

Se evaluaron siete tratamientos, que consistió en dos grupos de coagulantes (*Solanum tuberosum* y Sulfato de aluminio) a dosis de 200, 250 y 300 mg/L para cada uno de la siguiente manera:

- T₀: Testigo
- T₁: Cáscara de *Solanum tuberosum* 200 mg/L
- T₂: Cáscara de *Solanum tuberosum* 250 mg/L
- T₃: Cáscara de *Solanum tuberosum* 300 mg/L
- T₄: Sulfato de aluminio 200 mg/L
- T₅: Sulfato de aluminio 250 mg/L
- T₆: Sulfato de aluminio 300 mg/L

El tratamiento de la investigación se ejecutó mediante un diseño completamente al azar, cada ensayo exploratorio fue realizado con 4 repeticiones respectivas, con la finalidad de reducir el margen de error experimental; así mismo, se midió los parámetros de turbidez antes y después del tratamiento, se calculó la eficiencia de remoción, se realizó la comparación, y se determinó las dosis óptimas para ambos tratamientos.

Para obtener los volúmenes a añadir en cada uno de los recipientes para cada tratamiento, se utilizó la ecuación de balance de masas, el cual establece el volumen de coagulante a utilizar (Carpio, 2019):

$$V (ml) = \frac{D_{\left(\frac{mg}{l}\right)} \times Q_{(ml)}}{C_{\left(\frac{mg}{l}\right)}}$$

Siendo:

V = Volumen del coagulante que se añadirá en cada recipiente (ml)

D = Dosis del coagulante determinado expresado en mg/l

Q = Volumen de la muestra de agua residual aplicado en cada recipiente (ml)

C = Concentración de la solución del coagulante expresado en mg/l

Con referencia al porcentaje de eficiencia y evaluar la capacidad de disminución de turbidez, se utilizó la fórmula empleada por Hurtado y Yarleque (2017):

$$\% \text{ de Remoción} = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

Siendo:

C_i = Valor inicial

C_f = Valor final

Para efectuar la prueba de coagulación se utilizó el Test de Jarras por ser una técnica recomendada para este tipo de pruebas (Lorenzo, 2006), se utilizó dos tipos de velocidades rápida y lenta, seguidas de un tiempo de reposo (sedimentación) cuyos datos están señalados en la tabla 3, de esta manera se logró inducir la formación de flóculos y con ello se alcanzó disminuir la turbidez del agua residual. Lo expuesto anteriormente se encuentra representado en la Figura 29 para una mejor explicación.

Tabla 3

Programación del Test de Jarras

Mezcla	Velocidad	Tiempo
Rápida	100 rpm	1 min
Lenta	40 rpm	15 min
Tiempo de reposo por 30 min		

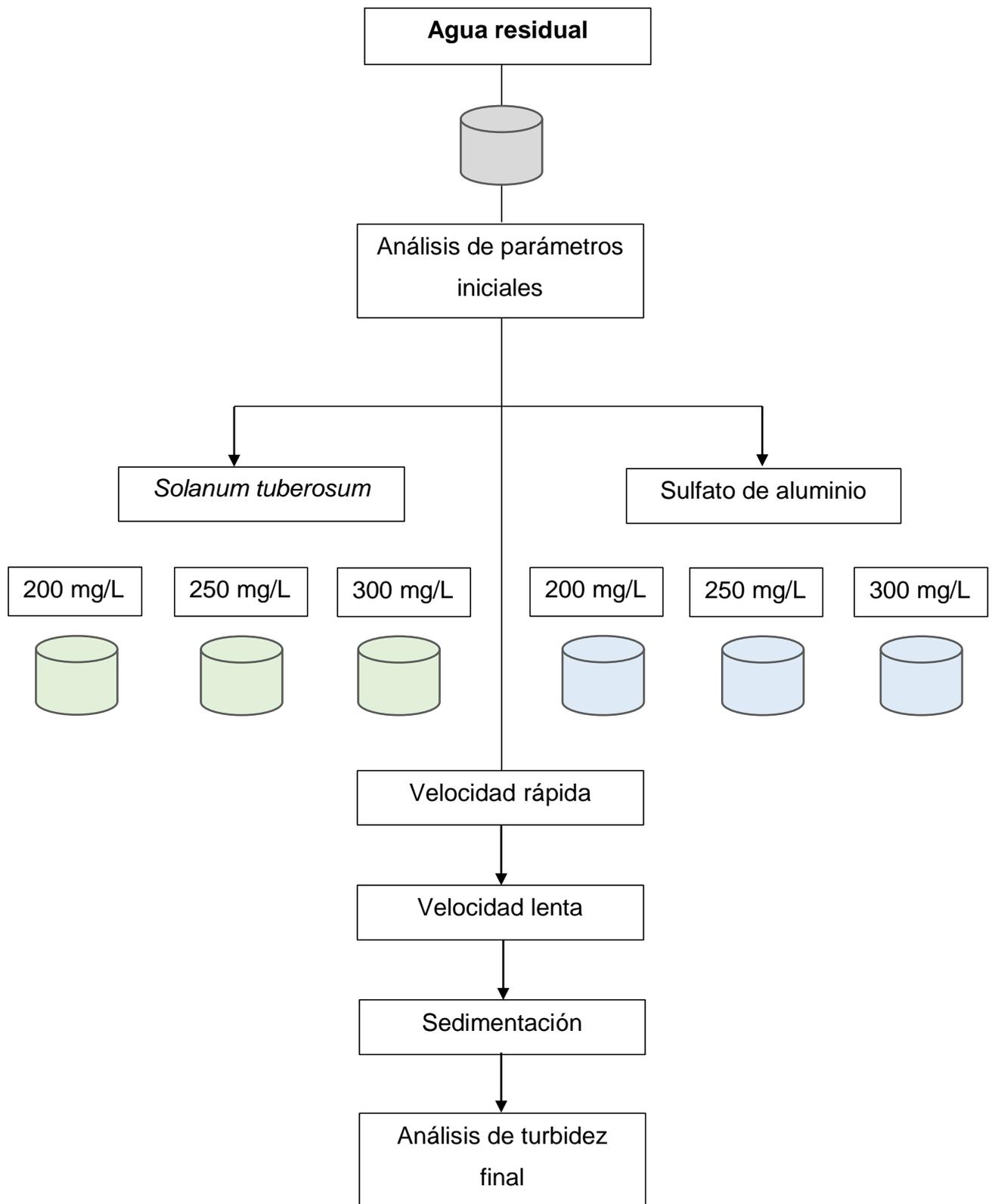


Figura 29. Diagrama de la investigación - *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio

El procedimiento aplicado para determinar la correcta medida para los parámetros de turbidez y pH se ejecutó de acuerdo a las metodologías estándar para el análisis de agua y agua residual 23th edición, propuestas por la asociación Americana de Salud Pública (APHA), Asociación Americana de Obras Hidráulicas (AWWA) y la Federación del Medio Ambiente del Agua (WEF) editadas por Baird, Eaton y Rice (2017). Por ello, la medición de turbidez se realizó siguiendo el método Nefelométrico 2130 B y respecto a la medida de pH antes de iniciar el tratamiento, el método electrométrico 4500-H⁺.

En cuanto a los equipos empleados, se utilizó un turbidímetro portátil digital de marca HACH modelo 21000Q de rango de lectura de 0 NTU a 10000 NTU (Figura 30) y para la obtención de valores de pH un medidor multiparámetro de marca HACH modelo HQ40d (Figura 31). Cabe mencionar, que los equipos empleados tanto para el turbidímetro y multiparámetro cuentan con el certificado de calibración respectiva presentados en el Anexo 1 y 2.



Figura 30. Turbidímetro

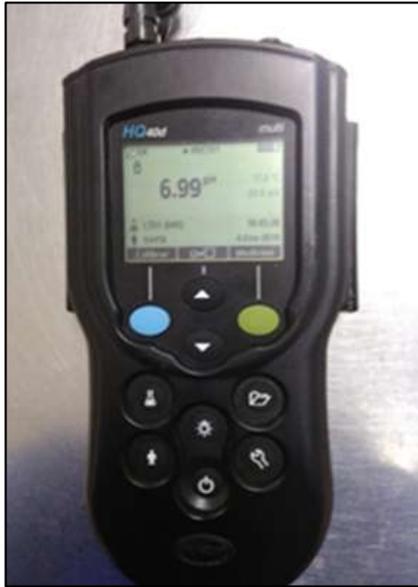


Figura 31. Multiparámetro

3.3.8 Análisis estadístico

Para el presente experimento de Diseño Completamente al Azar (DCA), se realizó la prueba Normalidad para identificar si los datos obtenidos pertenecen a una distribución normal, conjuntamente se realizó la prueba estadística ANOVA para analizar si hay diferencias significativas entre los tratamientos y por último la prueba de Tukey para identificar cuáles son esos tratamientos que difieren. Para efectuar el análisis estadístico se registró como variable dependiente la turbidez en base a los dos tratamientos empleados, para validar y verificar lo expuesto se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 25.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Análisis inicial de la muestra de agua residual

En la Tabla 4, se observa los valores iniciales de los parámetros medidos en campo del agua residual.

Tabla 4

Parámetros iniciales en campo

Parámetros	Valor	Unidad de medida
pH	7.57	
Temperatura	21	C°

En la Tabla 5, se observa los valores iniciales tomados en el laboratorio antes de efectuar el tratamiento con los coagulantes indicados.

Tabla 5

Parámetros iniciales

Parámetros	Valor	Unidad de medida
Turbidez	438	NTU
pH	6.99	
Temperatura	19	°C

De la Tabla 4 y 5, se observa una variación mínima de los parámetros de pH y temperatura, dando un valor de pH 6.99 unidades, siendo este el valor de pH con el cual se inicia el tratamiento. Asimismo, por ser un valor prácticamente neutro no se necesitó correctores de pH de agua para incitar la coagulación.

En la Tabla 5, el valor inicial de turbidez en el agua residual fue de 438 NTU, este valor obtenido contrasta con el hallado por Carpio (2019) en la misma PTAR, cuyo valor de turbidez inicial fue de 209 NTU. Este incremento de turbidez se debe al aumento de actividades domiciliarias debido al confinamiento por el estado de emergencia, lo que conlleva a la concentración de contaminantes, sedimentos en suspensión, partículas coloidales y materia orgánica.

3.4.2 Análisis final de la muestra de agua residual tratada

3.4.2.1 Agua residual tratada con *Solanum tuberosum*

- **Disminución de la turbidez**

En la Figura 32, se representan los valores promedios de turbidez luego del tratamiento empleado con la solución de cáscaras de *Solanum tuberosum* a distintas dosis. Los promedios señalados se obtuvieron de las 4 repeticiones para cada dosis, los cuales están detallados en el Anexo 3.

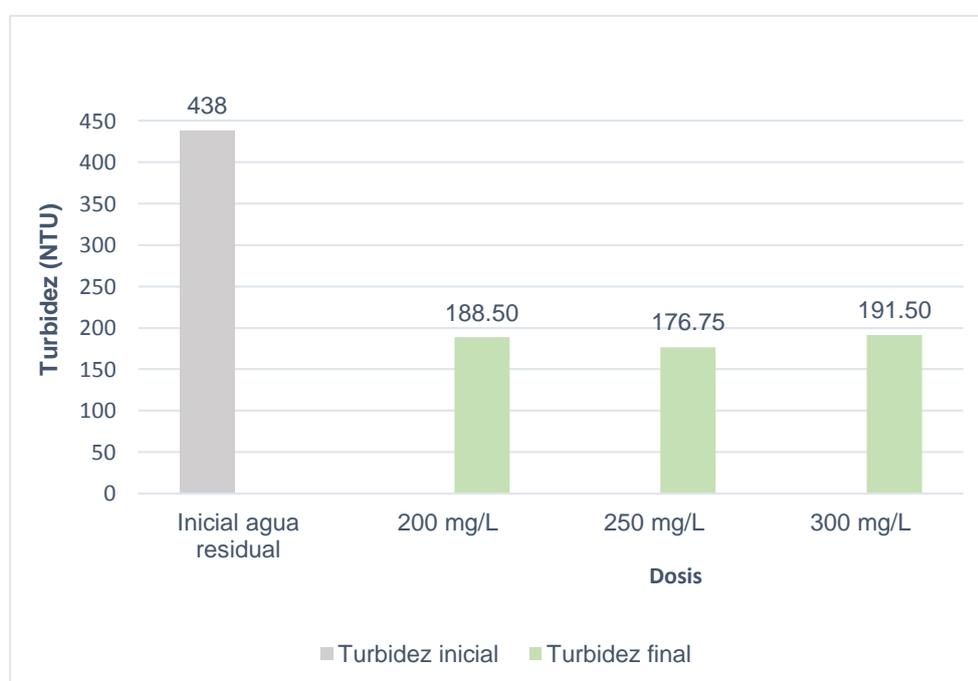


Figura 32. Turbidez final con cáscaras de *Solanum tuberosum*

Los resultados indican que la mayor disminución de turbidez fue al aplicar dosis de 250 mg/L, ya que en estas condiciones se redujo de una turbidez inicial de 438 NTU hasta 176.75 NTU, representando un porcentaje de remoción de 59.65 % de eficiencia, seguida de la dosis de 200 mg/L donde logró bajar hasta 188.50 NTU equivalente al 56.96% de efectividad, mientras que la menor disminución fue con la dosis de 300 mg/L, reduciendo de 438 NTU hasta 191.50 NTU reportando un 56.28% de eficiencia para agua residual de origen doméstico.

Con estos resultados se afirma lo indicado por Carrasquero et al. (2017) donde menciona que las cáscaras de *Solanum tuberosum* son efectivas en aguas de alta turbidez debido al contenido de almidón en su composición, el cual les confiere poder coagulante. Menciona que el almidón a través de sus largas cadenas ionizadas logra capturar a los coloides en unos puntos de la cadena, dejándola con varios espacios para seguir adsorbiendo las partículas coloidales, siendo este mecanismo el que le permite adherirse a más partículas formando puentes de unión, logrando aglutinarlas y permitiendo su sedimentación. El autor señalado logró alcanzar un porcentaje de más del 97% de efectividad con dosis de 50 mg/L (5ml), sin embargo, se tiene que tener en cuenta que a comparación del investigador, se utilizó en este trabajo muestras de agua residual de origen doméstico, mientras que el investigador agua sintética producida en laboratorio, obteniendo mayores eficiencias en el agua de valor de 200 NTU.

De un modo similar en el análisis de Camacho et al. (2020) reportó una eficiencia de disminución de turbidez del 81.32 % manejando dosis de 10 mg/L (1ml) para una turbidez inicial de 59.60 NTU. De igual forma para Quino (2020) con una eficiencia del 98.38% se alcanzó disminuir de 45.8 a 1.93 NTU. Las eficiencias de los estudios anteriores superan a los valores hallados en el presente trabajo, no obstante, se pudo haber favorecido debido al origen de la muestra de agua y al nivel de turbidez inicial en el cual trabajaron, cuyos valores están muy por debajo del nivel inicial de turbidez presentado en esta investigación (438 NTU). A pesar de ello, se logra comprobar en este trabajo experimental, que las cáscaras de

Solanum tuberosum cumplen también su función como coagulante en aguas residuales de origen doméstico de alta turbidez.

Por otra parte, se mostró resultados superiores a los alcanzado por Velasco et al. (2017) donde utilizó muestras de agua residual municipal, reportando eficiencias del 10% para una dosis de 250 ppm (10ml), esto debido a que el pH utilizado en dicha investigación como factor influyente fue de 8 ± 0.5 unidades, encontrándose esta fuera del rango donde se permite la coagulación empleando este tipo de coagulante, dando una pobre remoción de las partículas coloidales. Respecto a Broncano y Rosario (2017) los resultados que lograron hallar poseen rangos de 3% al 94% de eficiencia, los cuales guardan cierta similitud con las eficiencias halladas en este trabajo.

Es preciso señalar que el nivel de pH inicial de la muestra en el presente estudio de 6.99 unidades, se posiciona dentro del rango aceptable de 6.10 a 7.22 unidades, siendo estos los valores adecuados que propician el proceso de coagulación empleando cáscaras de *Solanum tuberosum*, ello según los estudios realizados por Chalco (2016).

3.4.2.2 Agua residual tratada con sulfato de aluminio

- **Disminución de turbidez**

En la Figura 33, se representan los valores promedios de turbidez luego del tratamiento con la solución de sulfato de aluminio a distintas dosis. Los promedios señalados se obtuvieron de las 4 repeticiones para cada dosis, los cuales están detallados en el Anexo 4.

Es preciso señalar también que el valor inicial de pH en el presente estudio de 6.99 unidades, se posiciona dentro del rango aceptable de 5.5 y 8 unidades, siendo estos los valores adecuadas que propician el proceso de coagulación utilizando el sulfato de aluminio, ello según la investigación reportada por Barajas y León (2015).

Los resultados indican que la mayor disminución de turbidez fue al aplicar la mayor dosis de 300 mg/L, ya que en estas condiciones se redujo de una turbidez inicial de 438 NTU hasta 15.48 NTU, representando un porcentaje de remoción de 96.47 % de eficiencia, seguida de la dosis de 250 mg/L logrando bajar hasta 22.88 NTU equivalente al 94.78% de efectividad, mientras que la menor disminución fue con la dosis de 200 mg/L, reduciendo de 438 NTU hasta 38.53 NTU reportando un 91.20 % de eficiencia para agua residual de origen doméstico.

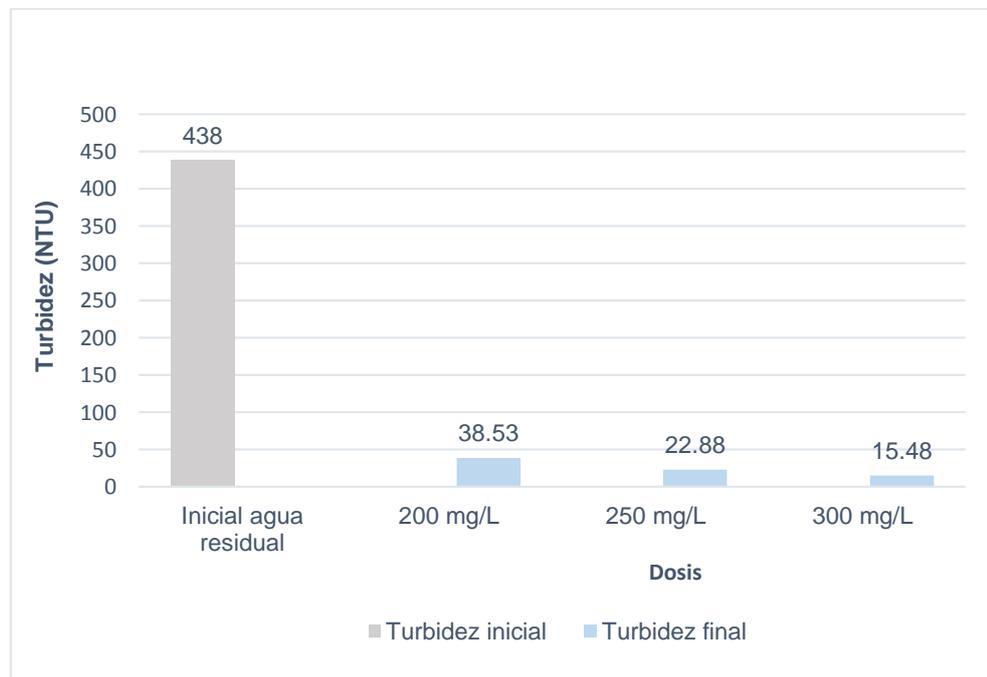


Figura 33. Turbidez final con sulfato de aluminio

Respecto a estudios anteriores, las eficiencias obtenidas usando sulfato de aluminio en este trabajo presentan cierta similitud dentro de los rangos conseguidos por Velasco et al. (2017) en el cual obtuvo eficiencias 87% para dosis de 125 ppm (5ml). Por otro lado se tiene a Quino (2020) donde logró una reducción de 45.8 a 0.74 NTU, representando un aproximado de 98.38%. Resultados similares se identificó en la investigación de Chalco (2016) en el cual alcanzó una eficiencia de 94.08 % para tratar aguas de río, empleando una dosis de 120 mg/L (12ml) para una turbidez de 500 NTU. Por último, se tiene a Camacho et al. (2020) donde consiguió eficiencias del 92.51% para una turbiedad inicial de 59.60 NTU utilizando

dosis de 40 mg/L (4ml). Al contrastar los estudios señalados, estos guardan cierta homogeneidad en los valores de las eficiencias resultantes a pesar de las diferentes dosis, no obstante la mayor parte de las eficiencias registradas se encuentran por encima del 90%, valores que guardan cierta relación con esta investigación a pesar de haber utilizado dosis mayores a las reportadas. Esto puede explicarse debido a que el sulfato de aluminio por ser un agente químico remueve partículas coloidales en distintas muestras de agua a tratar, dando eficiencias altas de remoción a pesar de los distintos niveles de turbidez que pueda presentar la muestra en estudio.

3.4.3 Tratamiento efectivo en el agua residual

3.4.3.1 Disminución de turbidez

De la Figura 34, se detalla los valores promedios resultantes de turbidez de ambos coagulantes utilizados respecto al valor inicial antes del tratamiento.

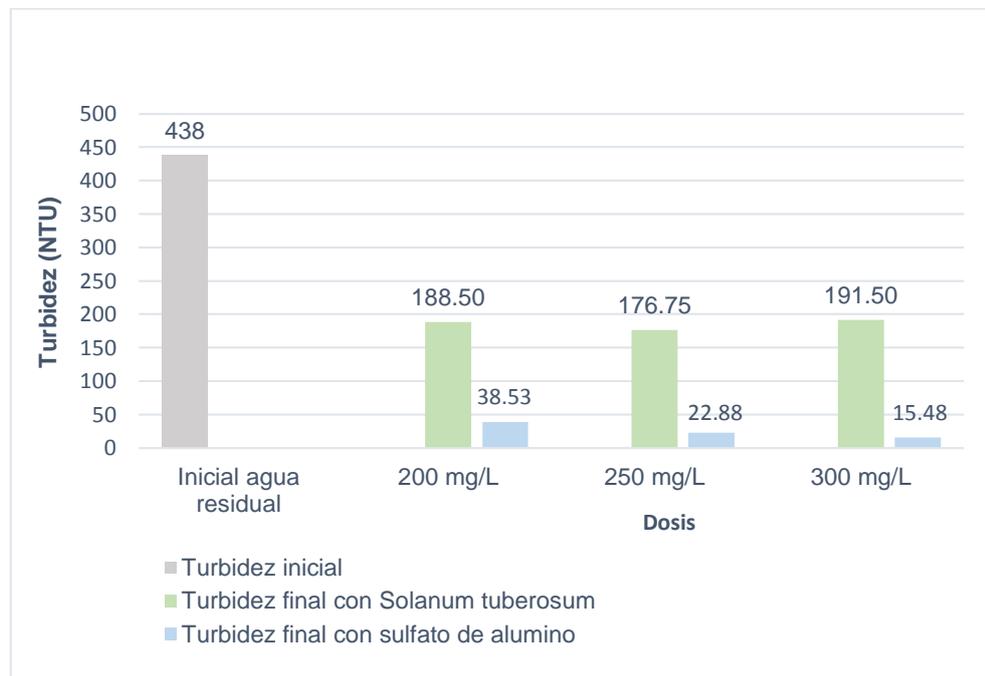


Figura 34. Turbidez final con cáscaras de *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio

Se observó que la mayor disminución de turbidez se dio con el sulfato de aluminio, siendo la mayor diferencia en su dosis más alta de 300 mg/L,

consiguiendo de 438 a 15.48 NTU, dando una efectividad equivalente del 96.47% a comparación de las cáscaras de *Solanum tuberosum* en el cual se registró como dosis óptima 250 mg/L, logrando un resultado de 438 a 176.75 NTU representando una eficiencia de 59.65%, hallando por ello ventajas para el sulfato de aluminio en su variación respecto a la reducción de la medida inicial de turbiedad del agua residual.

3.4.3.2 Eficiencia de remoción de turbidez

En la Figura 35, se presenta el comportamiento del porcentaje de remoción a medida que se incrementan las dosificaciones tanto para el coagulante químico como para el coagulante natural. De acuerdo a ello, se dio como mejor tratamiento y más efectivo en la disminución de la turbidez al sulfato de aluminio, del cual oscilan valores de 91.20 % a 96.47 % de eficiencia, llegando a su punto máximo en la dosis de 300 mg/L y su punto mínimo en la dosis de 200 mg/L, mientras que para el coagulante de cáscaras de *Solanum tuberosum* se registraron valores que van de 56.28 % a 59.65 % de eficiencia en la remoción de turbiedad, dando su punto máximo en la dosis 250 mg/L y su punto mínimo en la dosis de 300 mg/L.

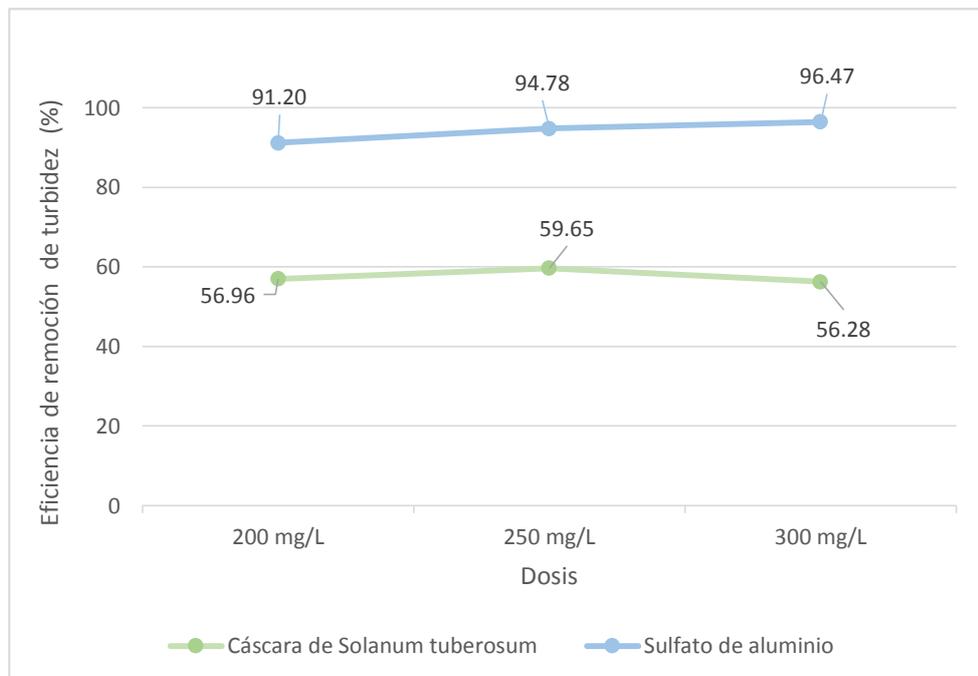


Figura 35. Eficiencia de remoción de turbidez

3.4.4 Resultados estadísticos

3.4.4.1 Prueba de normalidad

En el análisis de prueba de normalidad sobre los experimentos realizados, existen dos tratamientos: 1) Tratamiento con *Solanum tuberosum* y 2) Tratamiento con sulfato de aluminio; bajo las pruebas de normalidad se pueden observar en la Tabla 6 que los datos de las variables de turbidez cumplen con una distribución normal ya que el $P_{valor} > 0.05$; se usó la prueba Shapiro Wilk por poseer una muestra de 4 valores, $n < 30$.

Tabla 6

Prueba de Normalidad

Tratamiento	Dosis	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
<i>Solanum tuberosum</i>	Disminución porcentual de turbidez	200	.277	4	.	.874	4	.312
		250	.194	4	.	.975	4	.871
		300	.354	4	.	.795	4	.094
Sulfato de aluminio	Disminución porcentual de turbidez	200	.280	4	.	.926	4	.570
		250	.316	4	.	.798	4	.099
		300	.279	4	.	.878	4	.332

a. Corrección de significación de Lilliefors

3.4.4.2 Prueba ANOVA

Realizando la prueba ANOVA para el tratamiento con *Solanum tuberosum* y sulfato de aluminio (Tabla 7) de los tres grupos de dosis empleados: a) 200 mg/L, b) 250 mg/L y c) 300 mg/L, se encontró que entre los tratamientos aplicando *Solanum tuberosum* para la disminución porcentual de turbidez no existe diferencia significativa entre los grupos ya que el P_{valor} es mayor a 0.05, es decir $0.172 > 0.05$; mientras que para el tratamiento usando sulfato de aluminio si existe diferencias significativas entre los grupos ya que el P_{valor} es menor a 0.05, es decir $0.001 < 0.05$.

Tabla 7

ANOVA - Disminución porcentual de turbidez

Tratamiento		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Solanum tuberosum</i>	Entre grupos	25.342	2	12.671	2.156	.172
	Dentro de grupos	52.895	9	5.877		
	Total	78.236	11			
Sulfato de Aluminio	Entre grupos	57.754	2	28.877	17.709	.001
	Dentro de grupos	14.676	9	1.631		
	Total	72.430	11			

3.4.4.3 Pruebas TUKEY

Efectuando la prueba de Tukey para determinar las divergencias entre las dosis presentadas, en la Tabla 8 se verifica que la significancia de los datos obtenidos usando el tratamiento con *Solanum tuberosum* no se tiene diferencias significativas ya que los P_{valores} son mayores que 0.05 ($P_{\text{valor}} > 0.05$); mientras que para el tratamiento con sulfato de aluminio al menos hay dos grupos de dosis en la que sí existe diferencia significativa ya que el P_{valor} obtenido es menor a 0.05 ($P_{\text{valor}} < 0.05$).

Tabla 8

Comparaciones múltiples

Tratamiento	(I) DOSIS	(J) DOSIS	Diferencias de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
<i>Solanum tuberosum</i>	200	250	-2.68265	1.71423	.309	-7.4688	2.1035
		300	.68493	1.71423	.917	-4.1012	5.4711
	250	200	2.68265	1.71423	.309	-2.1035	7.4688
		300	3.36758	1.71423	.177	-1.4186	8.1537
	300	200	-.68493	1.71423	.917	-5.4711	4.1012
		250	-3.36758	1.71423	.177	-8.1537	1.4186
Sulfato de Aluminio	200	250	-3.57306*	.90295	.008	-6.0941	-1.0520
		300	-5.26256*	.90295	.001	-7.7836	-2.7415
	250	200	3.57306*	.90295	.008	1.0520	6.0941
		300	-1.68950	.90295	.202	-4.2105	.8315
	300	200	5.26256*	.90295	.001	2.7415	7.7836
		250	1.6895	.90295	.202	-.8315	4.2105

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

En las siguientes tablas se muestra a detalle la prueba de Tukey realizada para las dosis de cada tratamiento en su disminución porcentual de turbidez.

En la tabla 9, se obtiene niveles de eficiencia de remoción similares para cada dosis utilizado en el tratamiento con *Solanum tuberosum*, puesto que caen en la mismo nivel poblacional por presentar homogeneidad.

Tabla 9

Prueba Tukey para tratamiento con *Solanum tuberosum*

HSD

Tukey^a

Dosis	N	Sub conjunto para alfa = 0.05	
		1	
200	4	56.9635	
250	4	59.6461	
300	4	56.2785	
Sig.		.177	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica=4,000

En la Tabla 10, empleando las dosis para el tratamiento con sulfato de aluminio se obtuvo que la reducción para las dosis de 250 y 300 mg/L se encuentran en el mismo nivel poblacional, debido al nivel de eficiencia de remoción similar entre estas dosis; mientras que con la dosis de 200 mg/L se obtiene una diferente significancia, por ello difiere en el nivel de disminución de la turbidez a comparación de las dos dosis señaladas.

Tabla 10

Prueba de Tukey para tratamiento con sulfato de aluminio

HSD

Tukey^a

Dosis	N	Sub conjunto para alfa = 0.05	
		1	2
200	4	91.2043	
250	4		94.7774
300	4		96.4669
Sig.		1.000	.202

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica=4,000

CONCLUSIONES

- Se muestra mejor efectividad para el coagulante químico sulfato de aluminio a comparación del coagulante natural *Solanum tuberosum* en la disminución de la turbidez en el tratamiento de aguas residuales. Se infiere que el coagulante químico a diferencia del coagulante natural presenta mayor eficiencia conforme aumenta la dosis, existiendo diferencias significativas ($0.001 < P$) entre las dosis aplicadas, verificando eficiencias similares de remoción a nivel poblacional en las dosis de 250mg/L y 300 mg/L; mientras que para el tratamiento con *Solanum tuberosum* la significancia obtenida ($0.172 > P$) evidencia que no se registró variación significativa entre las dosis empleadas, hallando eficiencias homogéneas a nivel poblacional.
- La dosis óptima para la disminución de la turbidez en el tratamiento de aguas residuales usando la cáscara de *Solanum tuberosum* es de 250 mg/L, dosis donde alcanzó su máxima reducción, de un valor inicial de 438 a 176.75 NTU de turbidez residual, presentando un nivel de 59.65% de eficiencia. Esto estaría sujeto a la presencia del almidón en las cáscaras de *Solanum tuberosum* constituidas por la amilosa y amilopectina, actuando como coagulantes por medio de largas cadenas de estructura lineal y ramificada, otorgando que las partículas coloidales del agua residual queden atrapadas mediante la formación de puente polímero, generando con ello flóculos de mayor tamaño, concediendo una mayor facilidad para sedimentar, logrando por ello la disminución de la turbidez.
- La dosis óptima para la disminución de la turbidez en el tratamiento de aguas residuales usando sulfato de aluminio es de 300 mg/L, ya que en ella registró su mayor reducción, de un valor inicial de 438 a 15.48 NTU, obteniendo un nivel de 96.47% de eficiencia. Esto estaría dado por la turbidez alta de la muestra, el cual propicia el proceso de coagulación mediante el mecanismo de absorción, donde por acción de la formación de iones del sulfato de aluminio, llegan a ser adsorbidos por las partículas coloidales permitiendo neutralizar su carga eléctrica, con ello se logró su aglomeración formando flóculos sedimentables, alcanzando finalmente la disminución de la turbidez.

RECOMENDACIONES

- Extender las dosis de los estudios realizados y seguir profundizando el uso de las cáscaras de *Solanum tuberosum* como coagulante natural, ya que permite generar el aprovechamiento de los mismos y constituye una alternativa para minimizar el uso de coagulantes químicos; por otro lado, comprobado su efectividad para la disminución de la turbidez en aguas residuales de origen doméstico, optar por pruebas de coagulación en muestras de agua residual de diferente origen que impliquen valores altos de turbidez, con el fin de identificar y ampliar su efectividad en distintas condiciones.
- Determinar si existe la presencia de chaconinas luego del tratamiento del agua empleando cáscaras de *Solanum tuberosum*, ya que la chaconina es un compuesto tóxico natural abundante en los tubérculos de papa, concentrándose de manera específica en las cáscaras, lo que podría traer una posible contaminación secundaria del agua y por ende posibles efectos de intoxicación en la población usuaria.
- Realizar un estudio de factibilidad económica para evaluar la sustentabilidad y rentabilidad del coagulante natural obtenido de las cáscaras de *Solanum tuberosum*, ya que estos son principales residuos de procesamiento que comúnmente son descartados sin recibir algún aprovechamiento.
- Fomentar la revalorización de productos naturales y principalmente de los residuos orgánicos en los procesos ambientales, ya que estos contribuyen por su bajo costo de adquisición, facilidad de manejo y propiedades, a que se generen productos de interés con valor agregado, para así reducir la contaminación que se suele originar cuando estos desechos biodegradables no son manejados adecuadamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abi-faiçal, A. (2010). *Aplicación de membrana de nanofiltración para eliminar disruptores endocrinos en la potabilización del agua* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Acebo, D., y Hernández, A. (2013). Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida. *CENIC*, 44(1). doi: 1812/181226886003
- Aguirre, S., Piraneque, N., y Cruz, R. (2018). Sustancias naturales: Alternativas para el tratamiento de agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 59-70. doi: 10.4067/S0718-07642018000300059
- Alvarado, N. (2011). Uso de la cascara de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas de aguas potables de la planta la Diana. *Publicaciones e Investigaciones*, 6(1), 115-121. Recuperado de <https://hemeroteca.unad.edu.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigaciones/article/view/1115/1279>
- Andia, Y. (2000). *Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación*. Recuperado de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Angeles, P. (2015). *Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (TPS) a partir del almidón de yuca Manihot sculenta* (tesis doctoral). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Aquino, P. (2017). *Calidad del agua en el Perú Retos y aporte para una gestión sostenible en aguas residuales*. Recuperado de http://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/176_aguasresiduales.pdf
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Recuperado de

<http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/207/ANA0000023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Banco de Desarrollo de America Latina. (2019). *Estrategia del agua: 2019-2020*. Recuperado de <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1455/Estrategia%20del%20agua.pdf>

Barajas, C., y León, A. (2015). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación – floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neurona artificial* (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.

Barrenechea, A. (Ed.). (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano- Plantas de filtración rápida*. Lima, Perú.

Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Broncano, L., & Rosario, N. (2017). *Eficiencia del *Tropaeolum tuberosum* y la cáscara de *Solanum tuberosum* como coagulante para la remoción de turbiedad, color y sólidos disueltos en el río Lullán, provincia de Caraz, Ancash-2016* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.

Camacho, H., Campos, D., Mercado, I., Cubillán, N., y Castellar, G. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación e innovación en ingenierías*, 8(1), 100-111. doi: doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572

- Camacho, E. (2013). *Alternativas para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas, Tres casos de Estudio, en el Estado de México* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Campos, M. (2000). *La responsabilidad civil por daños al medio ambiente: El caso el agua en México*. Recuperado de <https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/3496-la-responsabilidad-civil-por-danos-al-medio-ambiente-el-caso-del-agua-en-mexico>.
- Carpio, B. (2019). *Evaluación del uso de semillas de Mangifera indica L (mango) como coagulante natural para tratamiento de aguas residuales de la PTAR MUNIVES de VES – Lima* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Villa El Salvador, Perú.
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, E., Parra, P., Marín, J., y Díaz, L. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. doi: 10.18359/rfcb.1941
- Castellanos, F. (2017). *Revisión de uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Chalco, M. (2016). *Determinación de la eficiencia del almidón de papa (Solanum tuberosum) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del rio Caplina* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- Chama, J. (2017). *Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (Solanum tuberosum) Var. Única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016*” (tesis de pre-grado). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.

- Cogollo, J. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *Dyna*, 78(165), 18-27. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636>
- Díaz, J. (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, Honduras.
- Díaz, C., Esteller, M., y López F. (2005). *Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Recuperado de https://www.academia.edu/40024688/Recursos_H%C3%ADricos_Conceptos_b%C3%A1sicos_y_estudios_de_caso_en_Iberoam%C3%A9rica?email_work_card=minimal-title
- Díaz, C. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Recuperado de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/>
- Fondo Nacional del Ambiente. (2010). *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. Recuperado de http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/%24FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2018). Informe anual 2017. Recuperado de https://www.unicef.org/spanish/publications/files/UNICEF_Informe_Anual_2017_ES.pdf
- Fúneque, D., y Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del procesos de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de trabajo ECAPMA*, 2(1), 2-7. doi: doi.org/10.22490/ECAPMA.2771

- Gutiérrez, P. (2019). *Determinación de los parámetros de diseño y el porcentaje de sustitución del cloruro férrico por el almidón de yuca en el proceso de clarificación y remoción de arsénico de las aguas del río Uchusuma (Provincia, Tacna) y propuesta de diseño de un reactor batch a nivel domiciliar* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna, Perú.
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C., y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación científica*, 16(1), 253-262. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Alimentech ciencia y tecnología alimentaria*, 13(2), 123-135. doi: 10.24054/16927125.v2.n2.2015.1877
- Herrera, N. (2019). *Evaluación de resistencia a Phytophthora infestans Mont de Bary de cinco variedades de papa en Cajamarca y Junin* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Hurtado, J., y Yarleque, E. (2017). *Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (Solanum tuberosum) en la purificación del agua del río Patari para uso de consumo humano* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Estado de la población peruana 2020*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1743/Libro.pdf
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2012). *Papa INIA 303 – Canchán (2)*. Recuperado de <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/518>

- James, C., y O'Melia, C. (1982). Considering sludge production in the selection of coagulants. *Journal AWWA*, 74(3), 148-151. doi: 10.1002/j.1551-8833.1982.tb04875.x
- Jerez, E., y Martín, R. (2012). Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. *Cultivos tropicales*, 33(4), 53-58. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v33n4/ctr07412.pdf>
- Jiang, J. (2015). The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 8(1), 36-44. doi: 10.1016/j.coche.2015.01.008
- Lichtfouse, E., Morin-Crini, N., Fourmentin, M., Zemmouri, H., Oliveira Do Carmo, I., Matos, L.,...Grini, G. (2019). Chitosan for direct bioflocculation of wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1603-1621. doi: 10.1007/s10311-019-00900-1
- López, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
- Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA*, 40(2), 10-17. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Lozano, W. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales*. Recuperado de [file:///C:/Users/user/Downloads/Fund.DiseoDepuradorasAR%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/Fund.DiseoDepuradorasAR%20(5).pdf)
- Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L., y Zafra C. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24. doi: 10.18273/revuin.v19n1- 2020001

- Martyn, C., Osmond, C., Edwardson, J., Barker, D., Harris, E., y Lacey, R. (1989). Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminium in drinking water. *The lancet*, 333,59-62. doi: 10.1016/S0140-6736(89)91425-6
- Medina, C. (2018). *Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Metcalf y Eddy (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Recuperado de https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_METCALF_and_EDDY_FREELIBROS_ORG_pdf
- McDonald, R., Weber, K., Padowski, J., Flörke, M., Schneider, C., Green, P., Montgomery, M. (2014). Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. *Global Environmental Change*, 27(sn), 96-105. doi 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.022
- Murillo, D. (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Nieto, C., y Orellana, V. (2011). *Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador
- Oladoja, N. (2015). Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. *Journal of Water Process Engineering*, 6(1), 174-192. doi: 10.1016/j.jwpe.2015.04.004
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *World Population Prospects*. Recuperado de https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_DataBooklet.pdf

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado de https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/70/L.1&Lang=S

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado de https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/70/L.1&Lang=S

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2012). *Perspectivas Ambientales de la OCDE Hacia 2050*. Recuperado de <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49884278.pdf>

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y cambio climático*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611.locale=es>

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie a atrás*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2016). A Snapshot of the world's Water Quality: Towards a global assessment. Recuperado de https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2013). *Informe sobre desarrollo Humano Perú 2013*. Recuperado de <https://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/library/poverty/Informesobre desarrollohumano2013/IDHPeru2013/>

Quino, P. (2020). Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación – floculación con semillas de Durazno (*Prunus pérsica*), Tuna (*Opuntia ficus indica*) y cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) del río Jillusaya. *Apthapi*, 6(1), 1839-1852. Recuperado de <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/388>

Rice, E., Baird, R., y Eaton, A. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Recuperado de https://www.academia.edu/38769108/Standard_Methods_For_the_Examination_of_Water_and_Wastewater_23nd_edition

Samame, J. (2016). *Determinar la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

Sandoval, M., y Laines, J. (2013). Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93-101. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>

Tarón, A., Guzmán, L., y Barros, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73-78. doi: 10.22579/20112629.396

- Torres, J. (2019). *Evaluación de remoción de turbiedad de agua del canal de riego mediante tratamiento químico por coagulación-floculación con dos métodos de extracción de coagulante de mucilago de Opuntia ficus-indica a escala de laboratorio* (tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.
- Tzoupanos, N., y Zouboulis, A. (2008). Coagulation – Flocculation processes in wáter/wastewater treatment: The application of new generation of chemical reagents. 309-317. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/229039796_Coagulation-flocculation_processes_in_waterwastewater_treatment_the_application_of_new_generation_of_chemical_reagents
- Vargas, L. (Ed.). (2004). Tratamiento de agua para consumo humano - Plantas de filtración rápida. Lima, Perú.
- Vargas, M., y Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 19(4), 37-41. Recuperado de [file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-AprovechamientoDeAlgunosMaterialesEnEIDesarrolloDe-4835825%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-AprovechamientoDeAlgunosMaterialesEnEIDesarrolloDe-4835825%20(4).pdf)
- Velasco, P., Labastida, I., Beltrán, M., Abogado, O., y Gonzáles, A. (2017). Coagulantes naturales en el tratamiento de agua residual municipal. / *Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores en Evaluación y Tecnología Ambiental (EJITA)*. Simposio Internacional de AIDIS Joven llevado a cabo en el XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe, México.
- Vera, N. (2007). *Alternativas de potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del aeropuerto internacional de la ciudad de México* (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México.

Wang, Z., Zhang, Z., Lin, Y., Deng, N., Tao, T., y Zhuo, K. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidación process. *Journal of Hazardous Materials*, 95(2), 153-159. doi: 10.1016/S0304-3894(02)00116-4

Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua- Procesos fisicoquímicos*. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=TLpzh5HQYvgC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false>

ANEXOS

ANEXO 1: CERTIFICADO DE CALIBRACION – TURBIDÍMETRO



Certificado de Calibración
LMG - 161 - 2019

Pág. 1 de 2

N° DE EXP.	E19112718		
SOLICITANTE	INSTITUTO DE EDUCACION AMBIENTAL S.A.C.		<p><i>certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura de aproximadamente k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95% de confianza. Los resultados reportados son válidos sólo para el objeto calibrado y corresponden a las condiciones y momento en que se realizó la calibración y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de productos. Al solicitante y/o usuario le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.</i></p> <p><i>Nuestros certificados de calibración sin firmas y sello carecen de toda validez.</i></p> <p style="text-align: center;">Observaciones</p> <p><i>(*) Rango de indicación según el manual del fabricante.</i></p> <p><i>(**) Resolución observada durante la calibración. El equipo posee múltiples resoluciones, según el manual del fabricante.</i></p>
DIRECCION	Cal.Pacifico Mza. 29 Lote 9 A.H. Nuevo Lurin, Lurin - Lima - Lima.		
TIPO DE EQUIPO	TURBIDÍMETRO PORTÁTIL DIGITAL		
MARCA	HACH		
MODELO	2100Q		
NUMERO DE SERIE	14070C034047		
ALCANCE DE INDICACIÓN	0 NTU a 1000 NTU	(*)	
RESOLUCIÓN	0,01 N; 0,1 N; 1NTU	(**)	
PROCEDENCIA	China		
IDENTIFICACION	No indica		
FECHA DE CALIBRACIÓN	2019-11-29		

SELLO



FECHA DE EMISIÓN

2019-12-02

GERENTE TÉCNICO



Alexander Alza Zamudio

GERENTE DE OPERACIONES



Wilmer Mons Chavez

Jr. Antonio Cabo N°536, Urb. El Trébol - Los Olivos / servicios@gesmin.pa, metrologia@gesmin.pa / www.gesmin.pa / Teléfono: 6224288

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Metrología de GESMIN S.R.L. (Jr. Antonio Cabo N° 596, Los Olivos - Lima).

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Determinación del error del Turbidímetro, por comparación entre el valor medido por el instrumento y el valor proporcionado por materiales de referencia

MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO (MRC) EMPLEADO

Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a patrones internacionales. Se utilizó material de referencia certificado.

Trazabilidad	Patrón utilizado	N° de Lote / N° de catalogo
MR de Hach Company	Material de referencia 0,05 NTU	A8274 / 2684701
MR de Hach Company	Material de referencia 20 NTU	A8275 / 2684801
MR de Hach Company	Material de referencia 100,9 NTU	A8274 / 2684901
MR de Hach Company	Material de referencia 809,7 NTU	A8274 / 2660501

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

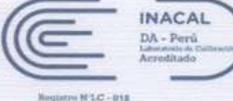
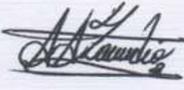
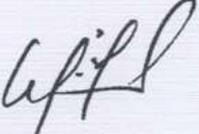
	INICIAL	FINAL
Temperatura (°C)	24,1	24,1
Humedad Relativa (%HR)	65,2	65,8

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Indicación (NTU)	Valor de referencia (NTU)	Error (NTU)	INCERTIDUMBRE (NTU)
0,12	0,05	0,07	0,06
19,8	20,0	-0,2	1,2
98,4	100,9	-2,5	5,8
798	809,7	-11,7	46,2

.....
FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

ANEXO 2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN – MEDIDOR MULTIPARÁMETRO

		LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 018			
				Pág. 1 de 2	
CERTIFICADO DE CALIBRACION LFQ - 162 - 2019					
LAB. FÍSICO QUÍMICA					
EXPEDIENTE SOLICITANTE DIRECCIÓN	E19122740 INSTITUTO DE EDUCACION AMBIENTAL S.A.C. Cal.Pacifico Mza. 29 Lote 9 A.H. Nuevo Lurín, Lurín - Lima - Lima.			La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura de aproximadamente $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95% de confianza. Los resultados reportados son válidos sólo para el objeto calibrado y corresponden a las condiciones y momento en que se realizó la calibración y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de productos. Al solicitante y/o usuario le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición. Nuestros certificados de calibración sin firmas y sello de carecen de toda validez alguna.	
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	MEDIDOR MULTIPARÁMETRO			Observaciones: (*) Alcance y resolución para el parámetro de pH. El equipo posee múltiples parámetros, según manual del fabricante.	
INFORMACIÓN DE INDICADOR MARCA MODELO NUMERO DE SERIE INTERVALO DE INDICACIONES RESOLUCIÓN	HACH HQ40d 150400018463 0,00 pH a 14,00 pH (*) 0,01 pH (*)				
INFORMACIÓN DE ELECTRODO MARCA MODELO NUMERO DE SERIE	HACH PHC101 131682561018				
PROCEDENCIA UBICACIÓN	USA No indica				
FECHA DE CALIBRACIÓN TEMP. DE REFERENCIA	2019-12-03 25 °C				
SELLO 	FECHA DE EMISIÓN 2019-12-05	GERENTE TÉCNICO  Alexander Alza Zamudio	GERENTE DE OPERACIONES  Wilmer Mena Chávez		
Jr. Antonio Cabo N° 596. Urb. el Trébol - Los Olivos/ Teléfono: 6224288, servicios@gesmin.pe, ventas@gesmin.pe/www.gesmin.pe El certificado se publica o reproduce en forma completa y sin modificaciones					

CERTIFICADO DE CALIBRACION LFQ - 162 - 2019

Pág. 2 de 2

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Físico Química (Jr. Antonio Cabo N° 596, Los Olivos)

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Comparación directa con Material de Referencia Certificado (MRC), según PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH"; Segunda Edición - Junio del 2017; INACAL-DM

PATRONES DE REFERENCIA

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Análisis
Material de referencia: NIST- EEUU	MRC de pH 4,011 con valor de incertidumbre 0,011 unidades de pH (25 °C)	CONTROL COMPANY, Certificado N° 4287-10265947
Material de referencia: NIST- EEUU	MRC de pH 6,997 con valor de incertidumbre 0,011 unidades de pH (25 °C)	CONTROL COMPANY, Certificado N° 4288-10453247
Material de referencia: NIST- EEUU	MRC de pH 10,016 con valor de incertidumbre 0,011 unidades de pH (25 °C)	CONTROL COMPANY, Certificado N° 4289-10023731

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrón de referencia del INACAL-DM	Termómetro digital con un valor de incertidumbre igual a 0,032 °C (en 25 °C)	INACAL-DM, Certificado N° LT-251-2019

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	26,5	26,8
Humedad Relativa (%HR)	63,2	63,4

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN ANTES DEL AJUSTE (AS FOUND DATA)

Indicación del pHmetro (pH)	Valor de referencia (pH)	Error de indicación (pH)	Incertidumbre (pH)
3,95	4,01	-0,06	0,02
7,00	7,00	0,00	0,02
9,79	10,02	-0,23	0,02

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	26,7	27,0
Humedad Relativa (%HR)	64,0	66,2

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DESPUES DEL AJUSTE (AS LEFT DATA)

Indicación del pHmetro (pH)	Valor de referencia (pH)	Error de indicación (pH)	Incertidumbre (pH)
3,94	4,01	-0,07	0,02
7,05	7,00	0,05	0,02
9,98	10,02	-0,04	0,02

Notas

- La medición fue realizada en un medio isoterma a una temperatura de 25 °C
- Longitud de inmersión: 2 cm

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

ANEXO 3: RESULTADO FINAL DE TURBIDEZ CON *Solanum tuberosum*

<i>Solanum tuberosum</i>			
Repetición	DOSIS		
	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L
1	193	191	211
2	194	180	182
3	182	165	185
4	185	171	188
Promedio	188.50	176.75	191.50

ANEXO 4: RESULTADO FINAL DE TURBIDEZ CON SULFATO DE ALUMINIO

Sulfato de Aluminio			
Repetición	DOSIS		
	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L
1	45.9	20.9	22.9
2	41.2	23.8	10.7
3	39.1	23.7	11
4	27.9	23.1	17.3
Promedio	38.53	22.88	15.48