



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN CAMPO 1

Tratamiento para el agua residual proveniente de lavadoras domésticas;
usando un coagulante y un filtro con carbón activado.

Tesis

Que para obtener el título de

Ingeniera Química

Presenta

Sánchez Pérez Kira Azyadet

Directora de tesis

Dra. Francisca Alicia Rodríguez Pérez

Cuatitlán Izcalli, Estado de México, 2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación

de la FES Cuautitlán.
EXAMEN PROFESIONAL

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de tesis y examen profesional.**

Tratamiento para el agua residual proveniente de lavadoras domésticas: usando un coagulante y un filtro con carbón activado.

Que presenta la pasante: **Kira Azyadet Sánchez Pérez**
Con número de cuenta: **312017121** para obtener el título de: **Ingeniera Química**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de Marzo de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Eligio Pastor Rivero Martínez	
VOCAL	Q. Celestino Silva Escalona	
SECRETARIO	Dra. Francisca Alicia Rodríguez Pérez	
1er. SUPLENTE	I.Q. María Elena Quiroz Macías	
2do. SUPLENTE	M.G.A.A. Ángel Raygoza Trejo	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

MCVB/cga*

Agradecimientos

Agradezco el apoyo brindado por el programa de Cátedras de Investigación CI2265.

Agradezco con cariño a mi máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme cada uno de sus espacios y rincones para mi formación profesional, gracias porque, durante siete años aprendí y valoré cada signo de mi autonomía.

A mi Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por regalarme cuatro maravillosos años de aprendizaje, risas, aventuras y anécdotas. Gracias por brindarme el espacio que me hizo conocer durante mi estancia a; profesores, alumnos, compañeros y amigos que se quedarán guardados en mis más selectivos pensamientos.

Quiero agradecer con muchísimo cariño y alegría a mi asesora de Tesis, la Doctora Francisca Alicia Rodríguez Pérez, que, en cada uno de los pasos que di, estuvo ahí y nunca me soltó de su mano, gracias por su amistad y por tantas pláticas, consejos y risas que me brindo en cada una de nuestras reuniones. Siempre la llevaré con gran cariño en mi pensamiento y corazón.

Agradezco con gran sentimiento a mis profesores de la carrera, en especial al profesor Celestino Silva Escalona, por cada una de sus pláticas, frases, risas, dulces, enseñanzas y sobre todo por la amistad que durante todo este tiempo me ha brindado, a mi profesora Margarita, que, desde que la vi y platicamos la quise para siempre en mi vida profesional, a la profesora María Elena Quiroz Macías, que quiero suponer conoce un dicho muy corto que menciona lo siguiente; “las mejores amistades se dan cuando las personas se caían mal”, entonces, agradezco infinitamente como se dio nuestra amistad y más agradecida estoy, por el tiempo que va a durar. Mi carrea universitaria no hubiera estado llena de dicha y felicidad sin cada uno de ellos.

Por último y con gran peso, quiero agradecerle a Dios por permitirme llegar hasta este punto y principalmente a los amores de mi vida; mis padres, por ser mi motor, mi respuesta y felicidad de cada día, yo, sin ustedes no estaría convertida en todo lo que soy, los amo con todo mi ser ¡Gracias!

Dedicatorias

Quiero dedicar cada uno de mis triunfos y logros a la mayor felicidad de mi vida; mis padres, gracias por su amor, esfuerzo, apoyo y dedicación para que pudiera culminar una carrera universitaria, no me bastarían unos renglones para llenarlos de agradecimientos, pero, si me restan años para demostrarles en vida de que soy capaz por el simple hecho de verlos sonreír. A mi gordita preciosa, por cada consejo, incondicionalidad y fidelidad que me mostraste todos estos años de estudio, por ser siempre tú, la persona que cuidaba mis pasos y ser esa mujer que, estuvo ahí cada que tropecé, caí y lloré, gracias por creer siempre en mí, por ser como eres, por todo tu amor, eres una mujer ejemplar, siempre tendrás mi mayor admiración y respeto. A mi Pelonchas, porque, más que mi papá, eres la persona con más profesionalismo que he conocido, gracias por tu esfuerzo de diario para regalarnos lo mejor de ti, por mi formación cultural, sin tu enseñanza y lo que sembraste, yo, no conocería muchas cosas, también sé que, siempre vas estar ahí, para cuidarme, amarme y dar la vida por mí, gracias mi estrella fugaz. A mis hermanos; Monky y Pulga por cada aventura, risa, llanto, que me han brindado, ustedes son el regalo más precioso que mis padres me dieron, son el tesoro máspreciado que cuidaré lo que me reste de vida.

Quiero brindar una dedicatoria muy especial al famoso pepedrilo, que, aunque nuestros caminos ya no van por el mismo sendero, fue una parte muy importante para la redacción de este trabajo, gracias por cada vez que fuiste oído, hombro y terapeuta de este demonio rastudo. ¡ Sí, muy bien!

Quiero dedicarme este trabajo a mí, porque, logre demostrarme que, soy una mujer muy fuerte y capaz de cumplir cada una de las metas que me proponga.

“No hay barrera, cerradura ni cerrojo que puedas imponer a la libertad de mi mente”

Virginia Woolf.

Índice

<i>Índice de figuras</i>	III
<i>Índice de tablas</i>	V
RESUMEN	1
1. <i>Introducción</i>	2
2. <i>Objetivos</i>	3
General	3
Particulares.....	3
3 <i>Generalidades</i>	4
3.1 El agua	4
3.2 El agua en la ciudad de México	4
3.3 ¿Cómo contaminamos el agua?	6
3.4 Uso y opciones de reúso del agua	7
4 <i>Aguas residuales</i>	8
4.1 ¿Qué son las aguas residuales?	8
4.2 ¿Cómo se clasifican las aguas residuales?.....	9
4.3 Aguas residuales municipales.	10
4.4 Aguas residuales industriales.	11
4.5 Aguas residuales agropecuarias.	12
4.6 Aguas residuales pluviales.....	13
4.7 Aguas residuales provenientes de minas y/o metalúrgicas	13
4.8 Aguas residuales de uso doméstico	15
4.9 Opciones para el reúso del agua en el hogar.....	17
5 <i>Tipos de tratamientos en el agua residual de lavadora doméstica</i>	20
4.2 Tratamiento biológico aeróbico	20
5.2 Método de electrocoagulación	21
5.3 Floculación – coagulación.	21
5.3.1 Tipos de coagulantes usados en el tratamiento de floculación – coagulación.....	22
5.3.2 Sulfato ferroso y sulfato férrico	23
5.3.3 Cloruro férrico	25
5.3.4 Policloruro de aluminio	26

5.3.5	Sulfato de aluminio	26
6	<i>Diseño experimental de un tratamiento de floculación-coagulación para aguas residuales de lavadoras domésticas.</i>	28
4.2	Material y equipo utilizado para el diseño del tratamiento de aguas residuales de lavadora doméstica.	28
4.3	Pruebas de jarras para los efluentes provenientes de lavadora doméstica.	30
6.3	Prueba de jarras utilizando como coagulante Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y Cloruro férrico $FeCl_3$	31
6.4	Diagrama para la propuesta de construcción del filtro de carbón activado y algodón. ...	34
6.5	Construcción de un filtro con algodón y carbón activado.	35
6.6	Diagrama de flujo de proceso del tratamiento de floculación - coagulación para agua residual de lavadora doméstica.	36
6.7	Descripción del tratamiento de aguas residuales provenientes de lavadoras domésticas 37	
6.8	Análisis de resultados experimentales del tratamiento de agua residual proveniente de lavadora doméstica.	39
7	<i>Conclusiones</i>	43
8	<i>Sugerencias para mejorar los resultados de la presente investigación.</i>	43
9	<i>Referencias</i>	44

Índice de figuras

<i>Figura 1. Consumo promedio de agua por persona: (A) Ciudad de México; (B) Estado de México; (C) Países Europeos (Rico Galicia, Pérez Orta , & Castellanos Zoreda, 2008).</i>	6
<i>Figura 2. Esquema de clasificación de las aguas residuales. Elaboración propia</i>	9
<i>Figura 3. Reactivo químico, sulfato ferroso (Wikipedia, 2021).</i>	23
<i>Figura 4. Reactivo químico, sulfato férrico (Wikipedia, 2021).</i>	24
<i>Figura 5. Reactivo químico, cloruro férrico (Wikipedia, 2021).</i>	25
<i>Figura 6. Reactivo químico, sulfato de aluminio (Wikipedia, 2021).</i>	27
<i>Figura 7. Materiales y reactivos utilizados para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual de lavadora doméstica. A) sulfato de aluminio, B) cloruro férrico, C) carbón activado, D) algodón, E) balanza electronic kitchen scale, F) soplete de gas natural y tubo de acero inoxidable, G) Kit de medición, pH, conductividad y sólidos disueltos totales, H) agitadores de vidrio, I) envase de plástico con capacidad de 60 mL, J) envase de plástico, K) vaso de precipitado con capacidad de 80 mL. ...</i>	29
<i>Figura 8. Comparación del proceso de floculación-coagulación. A) Proceso con 2 gramos de sulfato de cloruro férrico como coagulante, B) Proceso con 2 gramos de sulfato de aluminio como coagulante.</i>	31
<i>Figura 9. Se muestran las fotografías de los recipientes con las diferentes cantidades de sulfato de aluminio, utilizado como coagulante en el proceso de floculación – coagulación. A) De izquierda a derecha, recipientes con 2, 5 y 7 gramos de sulfato de aluminio, B) De izquierda a derecha, se muestran los recipientes con 10 y 13 gramos de sulfato de aluminio.</i>	32
<i>Figura 10. Prueba de jarras del agua residual de lavadora doméstica, con las distintas cantidades de coagulante, sulfato de aluminio. A) representa el agua residual con 2 gramos de sulfato de aluminio, B) con 5 gramos de sulfato de aluminio, C) con 7 gramos de sulfato de aluminio, D) con 10 gramos de sulfato de aluminio y por último E) con 13 gramos de sulfato de aluminio.</i>	33
<i>Figura 11. Diagrama de la propuesta de construcción del filtro de carbón activado y algodón para el tratamiento de agua residual de lavadora doméstica.</i>	34
<i>Figura 12. Construcción del filtro de carbón activado y algodón. A) envase de plástico para la construcción del filtro con carbón activado y algodón, B) uso de soplete de gas natural, para la perforación de la parte inferior del envase de plástico, C) envase de plástico con orificio inferior, D) colocación de la primera capa del filtro, algodón, E) colocación de la segunda y última capa, carbón activado, F) filtro terminado, construido con carbón activado y algodón.</i>	35
<i>Figura 13. Diagrama de flujo del proceso del tratamiento de floculación – coagulación para el agua residual de lavadora doméstica.</i>	36
<i>Figura 14. Proceso de floculación – coagulación para el tratamiento de agua residual proveniente de lavadora doméstica. A) tanque 01 (Tan 01), almacenamiento del agua residual proveniente de Lav 01, B) tanque 01 (Tan 01), proceso de agitación, después de, añadir el sulfato de aluminio como coagulante.</i>	37
<i>Figura 15. Proceso de filtración mediante Fil 01.</i>	38

<i>Figura 16. Proceso de almacenamiento de agua tratada el tanque 02 (Tan 02).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17. Cambios durante los procesos de almacenamiento, floculación – coagulación y filtración del tratamiento de agua residual de lavadora doméstica. A) Almacenamiento de agua residual de lavadora doméstica (Tan 01), proveniente de (Lav 01), B) proceso de floculación – coagulación del agua residual de lavadora doméstica (Lav 01), C) agua residual de lavadora doméstica, resultante del proceso de filtración (Fil 01), almacenada en (Tan 02).</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Montaje del equipo, para la medición de conductividad y pH en la muestra de agua residual de lavadora doméstica.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19. Diagrama de Pourbaix, $E=f(\text{pH})$, de la estabilidad del Al^{3+}, Al_2O_3 y AlO_2^-</i>	<i>42</i>

Índice de tablas.

<i>Tabla 1. Precipitación media histórica por entidad federativa (milímetros) del 2010 al 2019 (Comisión nacional del agua , 2021)</i>	5
<i>Tabla 2. Volumen concesionado por uso consuntivo agrupado (Estadísticas del agua en México , 2021).</i>	7
<i>Tabla 3. Características de Aguas Residuales Municipales en México (Eddy, 1985). Adaptada para la visualización de las características de aguas residuales municipales solamente de México.</i>	10
<i>Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (Normas Oficiales Mexicanas, 2021).</i>	11
<i>Tabla 5. Carga de contaminantes de los residuos animales (Iñiqui Tajero Monzón, 2001).</i>	12
<i>Tabla 6. Límites máximos permisibles (LMP) para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (Procedimiento de Extracción de Constituyentes Tóxicos) y base seca de residuos mineros (Herrera Flores, 2021).</i>	14
<i>Tabla 7. Composición Típica del Agua Residual Doméstica (Eddy, 1985).</i>	15
<i>Tabla 8. Características de las aguas residuales de lavanderías domésticas de casa habitación (Massoumeh & Kargari, 2017)</i>	16
<i>Tabla 9. Precios mínimos de marcas de lavadora doméstica más compradas en la Ciudad de México y zona metropolitana.</i>	18
<i>Tabla 10. Materiales y reactivos para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual de lavadora doméstica.</i>	28
<i>Tabla 11. Letra de recipiente y cantidad del coagulante sulfato de aluminio utilizado para la prueba de jarras.</i>	32
<i>Tabla 12. Resultados de las propiedades medidas en el agua residual de lavadora doméstica, agua tratada, agua con sulfato de aluminio, cloruro férrico, cloro y el agua suministrada por la alcaldía Azcapotzalco.</i>	41

RESUMEN.

El gasto excesivo de agua en las diferentes actividades del ser humano, nos ha llevado a preocuparnos por su escasez en distintas regiones del país. Según el último estudio de la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales realizado en el año 2015, en México, el consumo promedio de agua por persona es de 380 litros de agua al día, sin embargo, con las nuevas medidas sanitarias implementadas en marzo del 2020, el gasto de agua aumentó y su escasez fue notable en las poblaciones.

El objetivo de esta investigación es implementar y diseñar un tratamiento que reduzca el consumo excesivo del agua en el proceso de lavado, ya que, sin tomar en cuenta el proceso de remojo y enjuague, se gastan aproximadamente 65 litros de agua, por carga. Este tratamiento, busca ser un método práctico, fácil de usar y accesible, lo cual permita a la población que no cuenta con suficiente espacio y condición económica, aplicarlo, reutilizar el agua después del tratamiento y así reducir el consumo de agua en el proceso de lavado.

Para este proyecto, se utilizó el agua suministrada por la alcaldía Azcapotzalco, esta tuvo una conductividad inicial de **839.9 μ s**, y, al final del tratamiento propuesto, el agua tuvo una conductividad de **7.05 ms**. Gracias a la prueba de jarras realizada con dos coagulantes, se pudo definir cuál de éstos, sería más efectivo para tratar el agua residual de lavadora doméstica. Es importante aclarar, que, la efectividad del coagulante dependerá mucho de las propiedades del agua, por ejemplo, las propiedades del agua residual proveniente de la lavadora doméstica dependerán del tipo de; suavizante y jabón que se utilicen en el proceso de lavado. Por otra parte, gracias al diagrama de Pourbaix se pudieron proponer las especies que predominan en solución y que explican los cambios de las propiedades del agua residual de lavadora doméstica.

1. Introducción

Existimos personas que nos preocupamos por la situación del mundo; su economía, su flora, su fauna, su cultura, su desarrollo, su innovación, entre otras. Cabe destacar que entre esas preocupaciones existe una que nos carcome la cabeza y que es lo más importante para todos los seres humanos: el agua.

Si bien sabemos, el agua es el líquido más codiciado por la naturaleza y el ser humano, ya que, sin ella, no se pueden llevar a cabo millones de procesos biológicos que hacen que el planeta Tierra sea el más representativo en el sistema solar. Por eso, debemos tener conciencia de lo que le está sucediendo a cada gota que llevamos a la boca, cada gota que sudamos y, sobre todo, toda la cantidad de gotas que se desperdician a diario por el poco escrúpulo que tenemos de su uso y lo poco que conocemos de su reutilización. La reutilización no consiste en comprar un equipo costoso o construir una compleja planta tratadora de aguas en cada uno de los hogares del mundo, si no en convertir algo rutinario en un cambio significativo en el planeta, debemos ser conscientes y tomar en cuenta que el hogar es uno de los espacios en los que desperdiciamos gran cantidad de agua y que se hizo costumbre pensar que el agua es un recurso inagotable, ¡vaya que error! ¿A qué se refiere con rutinario?, a un proceso muy sencillo y que llevamos a cabo 3 o 4 veces a la semana; lavar la ropa.

Aunque parezca un proceso “inocente”, lavar 2 o 3 cargas de ropa se gasta entre 40 y 60 litros de agua dependiendo de la capacidad de la lavadora, cabe destacar que en el proceso de lavado lleva por lo regular 4 etapas: remojo, lavado, enjuague y secado, toda esa agua utilizada en cada etapa podría usarse para el baño o lavar los pisos. Sin embargo, por la poca información que tenemos de reutilización la desechamos directamente al drenaje municipal, reutilizar esta agua ya tratada con un filtro hecho en casa, no es tan costoso y aportaría demasiado para conservar nuestro líquido vital.

El sistema consiste en recolectar el agua que será tratada por el proceso de floculación – coagulación, para, después pasarla por el filtro diseñado, obteniendo así el agua limpia para poder ser reutilizada para otro proceso de lavado o bien, otros usos en el hogar. Es importante mencionar que el fin de este proyecto, es, que el proceso de tratamiento del agua residual de uso de lavadora, sea un proceso fácil, rápido y no costoso, para que, así la comunidad pueda aplicarlo a sus hogares y pueda reducir el gasto del recurso hídrico.

2. Objetivos

General.

- Proponer un tratamiento de floculación-coagulación para aguas residuales de lavadoras domésticas, usando un coagulante y un filtro con carbón activado, para la reutilización del agua en actividades donde no sea necesario el uso de agua potable.

Particulares.

- Exponer la problemática del mal uso del agua potable, por las diferentes actividades y su clasificación.
- Conocer la importancia de la reutilización del agua.
- Proponer un sistema de tratamiento de agua residual de lavadora doméstica, usando un coagulante y un filtro con carbón activado y algodón.
- Describir las ventajas y facilidades del uso de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), como coagulante para el proceso de coagulación – floculación, comparado con el cloruro férrico $FeCl_3$ en el tratamiento del agua residual de lavadora doméstica.
- Medir las propiedades; pH y conductividad eléctrica con la ayuda del kit oakton PC 450 antes, durante y después del tratamiento.

3 Generalidades

3.1 El agua

El agua es un líquido transparente, inodoro, incoloro e insípido que, se forma a partir de la unión mediante enlaces covalente de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El agua es nuestro disolvente más importante y el medio en que tienen lugar la mayor parte de las reacciones químicas en solución (Ritter, 1986). Es una manera rápida y científica con la que se puede definir este líquido tan vital, sin embargo, es prudente entender que el papel que juega el agua en el desarrollo va más allá de su definición, si no en la forma en que este líquido es utilizado. Según las estadísticas una familia de 4 integrantes puede llegar a gastar un promedio de 920 litros de agua por día, lo que incluye actividades como cocinar, bañarse, lavarse las manos, y, sobre todo; lavar la ropa (Ordoñez, ¿Cuánta agua consume un mexicano al día?, 2021).

Sin embargo, es importante destacar que, la Tierra es el único planeta conocido que cuenta con la presencia de agua líquida, el agua cubre las dos terceras partes de la Tierra y aparte de ser vital para los seres vivos, el ser humano le ha encontrado usos que se vuelven infinitos.

3.2 El agua en la ciudad de México

En la ciudad de México la manera en que se encuentra distribuida el agua potable, se puede relacionar con una cuestión social más que geográfica, ya que, su abastecimiento es causa de una desigualdad urbana, la presencia y ausencia de ésta cambia las maneras de vivir en esta ciudad. Si se remonta a los antepasados, los mayas, aparte de ser unos forjadores de la historia en México poseían una gran facilidad para innovar los usos del agua, principalmente la utilizada de la precipitación, pues contaban con un sistema bien distribuido que lograba satisfacer las necesidades básicas en la agricultura y las de sus habitantes (Jennings, 2013).

México tiene aproximadamente dos millones de kilómetros cuadrados de territorio, con una precipitación acumulada mensual de 134.7 mm (periodo 1981-2010, liberado en agosto 2020), según el sistema meteorológico nacional. A nivel estatal la precipitación pluvial es muy irregular, por ejemplo, Guanajuato en el 2019 tuvo una precipitación de 620 mm, mientras que, al sur de México, en Yucatán se tuvo en el 2019 una precipitación de 1076. En la Tabla 1, se muestra la precipitación media histórica por entidad federativa (milímetros) del 2010 al 2019 (Comisión nacional del agua , 2021).

La Ciudad de México emplea $72.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua, de los cuales 72% se extrae del subsuelo del Valle de México, 18% proviene del sistema Cutzamala, 8% del Lerma y 2% de manantiales y escurrimientos superficiales propios del valle. De esta cantidad, $10 \text{ m}^3/\text{s}$ se usan directamente en riego. Los $62.5 \text{ m}^3/\text{s}$ restantes se distribuyen a través de la red y equivalen a proporcionar 300 L/habitantes · día cifra a la que hay que restarle lo que se pierde por fugas ($23 \text{ m}^3/\text{s}$) y el consumo en comercios, industrias y servicios municipales de lo que resulta una dotación real per cápita de 146 L/habitantes · día (Jiménez & Marín, 2004).

Tabla 1. Precipitación media histórica por entidad federativa (milímetros) del 2010 al 2019 (Comisión nacional del agua, 2021).

Precipitación media histórica por entidad federativa (milímetros)																
	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Aguascalientes	448	456	459	460	464	463	464	461	461	465	466	471	472	473	477	477
Baja California	203	204	202	202	202	201	202	202	201	201	200	200	201	200	199	199
Baja California Sur	176	176	178	178	178	179	178	176	178	179	181	183	184	183	183	184
Campeche	1,138	1,169	1,175	1,175	1,182	1,182	1,185	1,185	1,184	1,191	1,194	1,196	1,196	1,198	1,201	1,202
Coahuila	316	327	327	327	332	332	335	333	333	334	336	338	341	341	342	341
Colima	890	883	886	886	889	889	893	900	901	915	928	942	947	957	966	976
Chiapas	1,961	1,969	1,975	1,975	1,985	1,985	1,995	2,001	1,999	2,003	2,004	2,000	1,995	1,995	1,991	1,989
Chihuahua	423	423	426	427	429	430	430	428	428	431	432	434	435	436	436	437
Ciudad de México	721	719	721	721	724	723	723	724	722	721	720	717	716	713	714	712
Durango	509	499	500	500	501	502	502	499	498	498	498	499	500	499	499	498
Guanajuato	592	605	608	608	613	613	615	612	612	614	614	617	618	618	621	620
Guerrero	1,110	1,105	1,108	1,108	1,112	1,110	1,116	1,117	1,115	1,117	1,119	1,117	1,115	1,116	1,116	1,116
Hidalgo	814	802	801	801	802	802	804	803	800	800	800	798	797	795	792	788
Jalisco	824	821	822	822	823	821	823	819	817	821	823	827	828	830	833	834
México	893	877	874	874	871	869	868	866	862	862	862	862	863	863	866	866
Michoacán	803	807	808	808	808	808	812	810	809	813	814	816	815	815	819	819
Morelos	876	884	884	884	884	887	891	892	892	900	912	917	929	942	955	964
Nayarit	1,062	1,069	1,068	1,067	1,075	1,078	1,086	1,086	1,086	1,088	1,090	1,095	1,097	1,099	1,102	1,103
Nuevo León	589	602	602	603	607	605	614	611	610	612	613	614	614	613	613	612
Oaxaca	1,519	1,519	1,515	1,515	1,513	1,509	1,515	1,513	1,511	1,508	1,503	1,497	1,490	1,489	1,486	1,481
Puebla	1,261	1,271	1,270	1,270	1,274	1,274	1,275	1,275	1,277	1,278	1,278	1,277	1,276	1,278	1,277	1,274
Querétaro	555	558	559	559	561	560	562	560	560	563	566	568	571	571	571	569
Quintana Roo	1,249	1,263	1,261	1,261	1,258	1,256	1,259	1,262	1,263	1,272	1,273	1,276	1,274	1,276	1,276	1,273
San Luis Potosí	960	946	942	942	953	953	959	958	958	957	955	953	950	945	941	936
Sinaloa	793	770	770	770	767	766	763	761	760	761	763	767	766	765	768	770
Sonora	428	422	421	421	422	422	422	421	421	421	422	425	425	425	427	430
Tabasco	2,413	2,406	2,410	2,413	2,415	2,405	2,407	2,409	2,404	2,410	2,409	2,410	2,401	2,396	2,390	2,384
Tamaulipas	766	767	766	766	773	771	775	772	772	776	779	780	780	778	777	774
Tlaxcala	711	705	708	708	707	706	708	708	710	712	714	715	716	716	715	713
Veracruz	1,475	1,492	1,494	1,495	1,496	1,495	1,500	1,500	1,503	1,508	1,508	1,508	1,508	1,511	1,511	1,506
Yucatán	1,108	1,091	1,088	1,088	1,084	1,079	1,079	1,078	1,076	1,080	1,081	1,080	1,077	1,078	1,077	1,076
Zacatecas	516	518	517	517	516	516	513	516	512	514	514	517	516	516	517	516
Nacional	772	774	774	775	777	776	779	778	777	779	780	781	780	781	781	780

3.3 ¿Cómo contaminamos el agua?

El ser humano le ha dado al agua usos infinitos que no solo ha provocado su mala distribución, sino su escasez y ahora con gran impacto, su contaminación. Este riesgo tanto para la salud como para el recurso hídrico ha traído serias consecuencias. Las ciudades, el campo, las industrias y el ser humano han aportado grandes cantidades de contaminantes a los ríos, mares, lagos y cualquiera que contenga este recurso. Cabe destacar que la industria es parte fundamental de la contaminación por la gran cantidad de residuos tóxicos-dañinos para la salud y el agua que desaguan en el alcantarillado y en los cauces naturales como pesticidas, insecticidas, cadmio, arsénico, plomo, colorantes, herbicidas, desinfectantes, detergentes, etc. Dándole sin duda alguna, un olor y sabor característico a las aguas que quedan contaminadas con estas especies, sin embargo, aunque las industrias desprendan contaminantes de acuerdo al giro que tengan, no es el único sector que más contamina el agua, ese otro sector determinante es el ser humano, éste se ha encargado de fomentar una cultura de uso y no reúso. Pues la poca conciencia e información que se tiene de la reutilización del agua ha llevado a las plantas tratadoras de aguas tener grandes retos, por el hecho que el humano utiliza el alcantarillado como bote de basura sin importar el destino y usa el agua en casa sin importar la cantidad que puede ser gastada con la finalidad de satisfacer todas sus necesidades, desde las básicas hasta las poco usuales. En México, el consumo promedio en el Ciudad de México es de 364 litros al día. Un habitante del Estado de México gasta en promedio 250 litros diarios. Estos datos resultan excesivos, si se considera que un habitante europeo usa 120 litros diarios (Rico Galicia, Pérez Orta , & Castellanos Zoreda, 2008). En la figura 1, se muestra el consumo promedio de agua por persona: (A) Ciudad de México; (B) Estado de México; (C) Países Europeos.

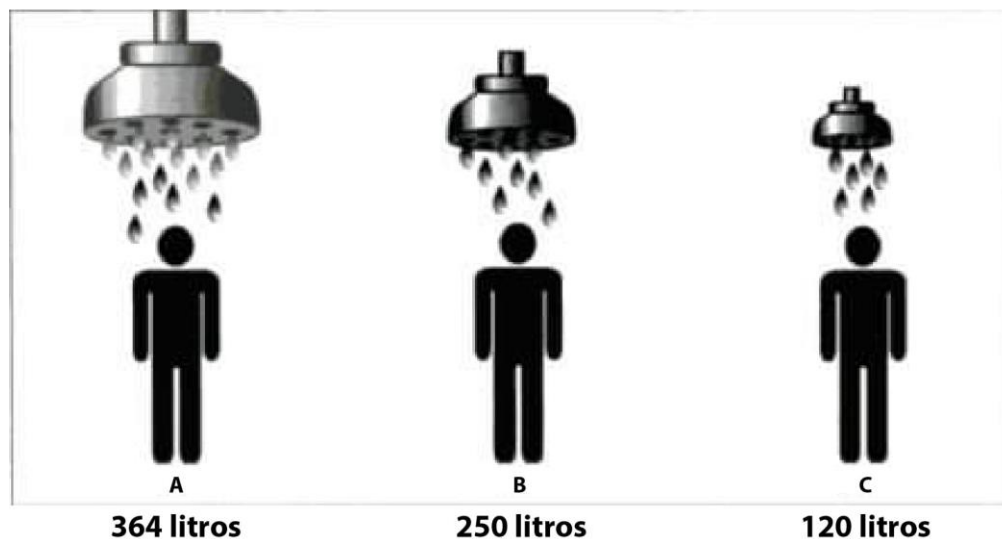


Figura 1. Consumo promedio de agua por persona: (A) Ciudad de México; (B) Estado de México; (C) Países Europeos (Rico Galicia, Pérez Orta , & Castellanos Zoreda, 2008).

Según datos de la SEMARNAT, México en 2013, los centros urbanos descargaron aproximadamente $229.73 \text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales y a nivel de entidad federativa los que generaron mayor descarga fueron; el estado de México con $24.22 \text{ m}^3/\text{s}$, CDMX con $21.96 \text{ m}^3/\text{s}$ y Veracruz con $16.08 \text{ m}^3/\text{s}$.

En el país los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales incluyeron lodos activados, lagunas de estabilización, lagunas aireadas, filtros biológicos, dual y otros. A través de estos sistemas se remueven cerca de 0.65 millones de toneladas de los 2 millones de toneladas que se generan (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 2021).

3.4 Uso y opciones de reúso del agua

Actualmente el recurso hídrico cuenta con un sinnúmero de actividades, que van provocando su desgaste con el paso del tiempo. Los volúmenes de aguas nacionales concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda), agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas y conservación ecológica) (Comisión nacional del agua, 2021). Es importante destacar que del año 2015 al 2018 hubo un aumento de 3175.5 hm^3 en el reparto para el uso del recurso hídrico, lo cual denota que, así como los habitantes y con ello sus actividades, aumentan el uso y consumo del agua, haciendo notar que aún es inexistente la información y cultura de formación sobre el cuidado del agua y de su reúso (Estadísticas del agua en México, 2021). En la tabla 2, se muestra la tabla modificada por la tesista, del volumen concesionado por uso consuntivo agrupado.

Tabla 2. Volumen concesionado por uso consuntivo agrupado (Estadísticas del agua en México, 2021).

Uso	Volumen (hm^3)	Volumen (hm^3)	Volumen (hm^3)	Volumen (hm^3)
Años	2015	2016	2017	2018
Agrícola	65,359.5	66,048.7	66,799.0	67,263.7
Abastecimiento público	12,480.0	12,577.1	12,628.4	13,094.3
Industria Autoabastecida	3,675.5	3,801.6	4,266.9	4,335.2
Energía Eléctrica excluyendo hidroelectricidad	4,149.3	4,149.3	4,147.1	4,146.6
Total	85,664.2	86,576.8	87,841.5	88,839.7

4 Aguas residuales

4.1 ¿Qué son las aguas residuales?

No existe una definición establecida sobre aguas residuales, sin embargo, podemos definir las como aquellas aguas provenientes de precipitaciones, de las actividades del ser humano y de los animales, que son recolectadas en el alcantarillado o bien pueden descargarse en el medio ambiente. Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, (“por sus siglas” OEFA), las aguas residuales; “son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (Organismo de Evaluación y Fiscalización, 2021).

Otra definición la proporciona la Ley de Aguas Nacionales, (“por sus siglas LAN”), que, define a las aguas residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de uso público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento, y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas (Diario oficial de la federación , 2021). La descarga de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias sin tratamiento provoca la contaminación de los cuerpos de agua receptores disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas (Diario oficial de la federación , 2021).

4.2 ¿Cómo se clasifican las aguas residuales?

Las aguas residuales se clasifican en; domésticas, industriales, municipales, agropecuarias, pluviales y metalúrgicas. Todas estas aguas, son vertidas al alcantarillado, después de su uso en las actividades domésticas, urbanas, mineras, granjeras y de lluvia. En la figura 2, se muestra un esquema muy generalizado de la clasificación de las aguas residuales.

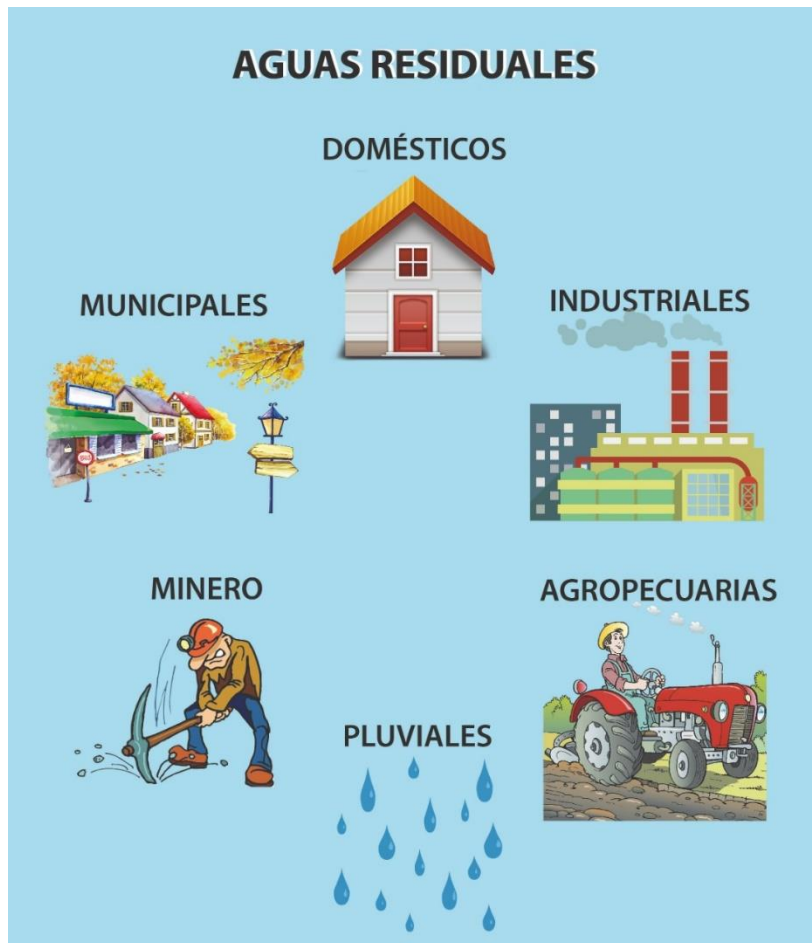


Figura 2. Esquema de clasificación de las aguas residuales. Elaboración propia

4.3 Aguas residuales municipales.

Pueden definirse como aquellas aguas resultantes de la mezcla de las aguas de uso doméstico, industrial, áreas urbanas como: estéticas, oficinas, comercios, restaurantes, etcétera. El agua residual municipal incrementa los contaminantes que pueden volverse indeseables en los tratamientos convencionales. Estas aguas tienen un olor a queroseno y su color se torna gris, sin embargo, cuando se deja acumulada por un lapso largo de tiempo su olor es similar al de sulfhídrico y su color se torna negro (Olivares Riveros, 2013). En la tabla 3, se describen las características de los contaminantes de las aguas residuales municipales en México.

Tabla 3. Características de Aguas Residuales Municipales en México (Eddy, 1985). Adaptada para la visualización de las características de aguas residuales municipales solamente de México.

	México	Unidades
Sólidos totales	987	mg/L
Fosfatos	29	mg/L
Nitrógeno total	31	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno cinco días (<i>DBO₅</i>)	301	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	430	mg/L
Grasas y aceites	96	mg/L

4.4 Aguas residuales industriales.

Son las aguas generadas del funcionamiento de la industria, estas deben ser tratadas por la misma industria antes de ser vertidas al alcantarillado municipal, este tratamiento que le den las industrias es muy importante pues contienen metales pesados o compuestos muy tóxicos y peligrosos. Deben seguir las normas sobre vertido de descargas, relacionadas principalmente a la carga orgánica, pH, aceites, temperatura, grasas y sustancias recalcitrantes.

Dada la desigual distribución geográfica de la industria y la dispar presencia de tipos de industrias en cada región, sus efectos ambientales difieren sustantivamente. Se puede distinguir estados con una alta intensidad de generación de contaminantes con relación a su producto, como parece ser el caso de Chiapas, Guanajuato, Querétaro, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz. Otros estados, en cambio, a pesar de su alta concentración de industrias, presentan una baja intensidad de contaminación por unidad de producto industrial, como es el caso de los estados de México, Puebla, Jalisco, Nuevo León y la Ciudad de México (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 2021). La Norma Oficial Mexicana NOM-002-Semarnat-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 4.

Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (Normas Oficiales Mexicanas, 2021).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra).	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables	5	7.5	10
(mililitros por litro)			
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

4.5 Aguas residuales agropecuarias.

En estas aguas se encuentran los desechos de la actividad agrícola, mataderos, establos y granjas, entre otras. La peculiaridad de estas aguas es que generan una gran cantidad de materia orgánica carbonácea, constituidas por el estiércol, combinados con residuos tóxicos provenientes de pesticidas y fertilizantes que son comúnmente utilizados en la agricultura como contenedores de plagas. También es importante considerar que, en los contaminantes de las aguas residuales agrícolas están inmersos los fármacos que son utilizados en los animales enfermos, las vacunas, las hormonas y los antibióticos que se recetan para engordar y curar a los animales. Las características de los residuos de la ganadería están en función del animal, el tipo, digestibilidad y composición de la ración alimenticia y del tipo de sistema de alimentación. Las heces del ganado consisten fundamentalmente en fibras de celulosa sin digerir. También contienen proteínas, potasio, calcio, magnesio, fósforo, residuo de los jugos digestores, mucosidades, bacterias y cualquier material extraño, como polvo, que haya sido ingerido mientras el animal era alimentado. Un caso particular del alimento son los suplementos para los cerdos que son sales de cobre. En la tabla 5, se encuentra distribuida la información de distintos animales de ganado, así como las cargas de contaminantes que se producen. Esta tabla clasifica la especie animal, el peso aproximado y la cantidad de DBO_5 por día.

Tabla 5. Carga de contaminantes de los residuos animales (Iñiqui Tajero Monzón, 2001).

Animal	Peso medio del animal (kg)	Residuos totales (kg/cabeza*día)	DBO_5
Ganado bovino	363	18-27	0.45-0.68
Vacas	590	44	0.91
Pollos		0.050	0.0044**
Gallinas		0.059	0.0044**
Cabras y ovejas		7	0.160
Pavos	6.8	0.41	0.023
Patos	1.6		0.005-0.029
Caballos		37	0.0360

Nota: **Las unidades de (DBO_5) están en libra/ libra de ave/día. Las cargas se refieren a los residuos totales, incluyendo heces y orina.

4.6 Aguas residuales pluviales

Son las aguas provenientes de las lluvias, éstas llegan a las alcantarillas y reducen la carga orgánica. Sin embargo, pueden variar las características del agua como el pH, debido a que muchas de estas aguas de lluvia se convierten en lluvias ácidas antes de llegar al suelo y a las alcantarillas. La precipitación del año 2019 en la Ciudad de México fue de 712 mm, lo que demuestra que no es excesiva nuestra humedad, sin embargo, afecta en los caudales del alcantarillado y debe tenerse en consideración para los diseños en estas temporadas donde hay más lluvia. “El tratamiento y recuperación de aguas pluviales, requiere un proceso mucho menos complejo que el que requiere las aguas residuales domésticas” (Arango Escobar & Flórez Cardona , 2021).

La mayor parte del país se presenta un clima Templado subhúmedo en un 87%, el 7% corresponde al clima seco y semisecho, y el 6% restante es clima húmedo. La temperatura más alta registrada es mayor a 25°C y la podemos encontrar en los meses de marzo a mayo, por lo contrario, la temperatura más baja se encuentra en el mes de enero y oscila en los 5°C. Las lluvias las encontramos en verano, aunque son fechas muy variables, en la parte seca es de 600 mm y en la parte húmeda, por las regiones del Ajusco, es de 1200 mm anuales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2021).

4.7 Aguas residuales provenientes de minas y/o metalúrgicas

México es un país minero de nacimiento, gracias a sus características geológicas, (sierra madre oriental y occidental). La producción minera comprende actividades de extracción de mineral, purificación y disposición de residuos. Cada una de estas actividades afecta con impacto el medio ambiente, sin embargo, el mayor grado se lo lleva la purificación, por el empleo de compuestos muy tóxicos como el cianuro. Internacionalmente México es el principal productor de plata: segundo en bismuto: tercero en cadmio, fluorita, antimonio y grafito: quinto en arsénico: sexto en zinc: séptimo en plomo, barita, azufre y molibdeno (Servicio Geológico Mexicano, 2021).

Las aguas residuales metalúrgicas son las aguas con más residuos contaminantes para el medio ambiente y el ser humano, pues estas aguas al descargarse de manera inconsciente contienen metales pesados y dañinos. Estas aguas se definen como: “Los efluentes procedentes de las minas se consideran los más contaminantes y de mayor riesgo para su uso o disposición, debido a que mayormente lo constituyen metales pesados tales como el Pb, Hg, Cd, Zn, etc., y metaloides como el Sb y el As. Todos estos residuos son tóxicos, mutagénicos, cancerígenos, tanto para la biota acuática como para el hombre, si es el usuario final; por lo que los desagües deben evaluarse adecuadamente a fin de caracterizar sus componentes recalcitrantes, los que deben minimizarse antes de ingresar a un sistema de tratamiento biológico” (Carreño & Augusto, 2016). En la tabla 6, se muestra los límites máximos permisibles (LMP) para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (Procedimiento de Extracción de Constituyentes Tóxicos) y base seca de residuos mineros. NORMA Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.

Tabla 6. Límites máximos permisibles (LMP) para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (Procedimiento de Extracción de Constituyentes Tóxicos) y base seca de residuos mineros (Herrera Flores, 2021).

Contaminante	LMP (mg/L)	LMP (mg/kg)
	PECT	Base seca
Antimonio	0.53	10.6
Arsénico	5.00	100
Bario	100.0	2000
Berilio	1.22	24.4
Cadmio	1.00	20
Cromo	5.00	100
Mercurio	0.20	4
Plata	5.00	100
Plomo	5.00	100
Selenio	1.00	20

4.8 Aguas residuales de uso doméstico

Las aguas residuales de uso doméstico son las resultantes del uso hídrico en las diferentes actividades del hogar incluyendo desechos fisiológicos. El tratamiento del agua de uso doméstico es costoso debido a que contiene contaminantes como detergentes, grasas, materia orgánica, suavizantes, tintes, insecticidas, heces, orina incluyendo las de los animales. Otras veces desechan sin conciencia sustancias tóxicas como residuos de tintes para el cabello o ropa, peróxidos y artículos de limpieza como detergentes sintéticos, con distintos químicos dañinos para el medio ambiente y la salud. En la tabla 7 se encuentra la descripción de los contaminantes que contiene el agua residual típica doméstica (Carreño & Augusto, 2016).

Tabla 7. Composición Típica del Agua Residual Doméstica (Eddy, 1985).

Contaminantes	Concentración			Unidades
	Débil	Media	Fuerte	
Sólidos totales (ST)	350	720	1200	mg/L
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	250	500	850	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno cinco días (DBO_5)	110	220	400	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	250	500	1000	mg/L
Carbono Orgánico Total (COT)	80	160	290	mg/L
Nitrógeno Total (NT)	20	40	85	mg/L
Cloruros	30	50	100	mg/L
Sulfatos	20	30	50	mg/L
Fósforo Total (PT)	4	8	15	mg/L
Grasas y Aceites	50	100	150	mg/L
Alcalinidad ($CaCO_3$)	50	100	200	mg/L

Según el autor Massoumeh y colaboradores (Massoumeh & Kargari, 2017) . En edificios residenciales dependiendo del país, diferentes cantidades de agua se utilizan en las lavadoras. En los países de Europa occidental y oriental, se utilizan casi 60 L de agua dulce por ciclo de lavado, mientras que, en América del norte y Corea del sur, es más de 140 L. El total anual de agua consumida por máquinas de lavado varía de unos $10m^3$ en los países europeos a $62.4m^3$ en Japón. Suponiendo 10 apartamentos en un edificio residencial, como promedio se espera que 300-1700 L de aguas residuales de lavandería se produzcan diariamente. En la tabla 8, se muestran las características de aguas residuales de lavanderías domésticas de casa habitación.

Tabla 8. Características de las aguas residuales de lavanderías domésticas de casa habitación (Massoumeh & Kargari, 2017)

Parámetros	Lavandería doméstica de casa habitación
pH	9.3 – 10
EC $\mu S/cm$	190 – 1400
TDS mg/L	400-6000
TSS mg/L	200-987
TH mg/CO_3	-
TA mg/CO_3	83-200
TOG mg/L	8.0 - 35
Fosfato mg/L	4 – 27.6
DBO mg/L	48-1200
COD mg/L	375-4155
Turbidez NTU	14-400

Debido a la pandemia por COVID 19, no se caracterizó el agua de lavadora que se trató en este trabajo de tesis. Por otro parte, las características del agua residual de lavadora van a depender mucho del lugar donde proviene el agua, de la población y los limpiadores a utilizar, como el detergente, desmanchadores, blanqueadores y suavizantes de telas.

4.9 Opciones para el reúso del agua en el hogar.

Como ya se mencionó, el agua es un recurso natural al que no le prestamos la atención que merece, una parte de la población en México no cuenta con agua en una llave, ni siquiera potable y se ven en la necesidad de conseguir el agua, caminando largas distancias para poder obtener un poco y usarla en las actividades del hogar, higiene personal e incluso sus necesidades vitales. Es necesario valorar el agua disponible y encontrar formas de cuidarla, disminuyendo el desperdicio y reciclándola lo más posible.

Existen diferentes formas de reusar el agua doméstica, por ejemplo:

Aprovechar el agua fría al asearnos: A la hora de ducharnos, es habitual que se abra la llave y se deje tirar el agua fría por el desagüe hasta conseguir la temperatura deseada. Para evitar ese gran desperdicio, podemos colocar una tina bajo la regadera para recoger el agua fría y después utilizarla en alguna otra actividad del hogar. Lo mismo puede realizarse con el agua de la lluvia.

Reutilizar las aguas grises: Las aguas generadas por los procesos de lavado o de la ducha, pueden aprovecharse para lavar el patio o para el mismo excusado.

Recolectar el agua de la cocina: Al momento de hervir verduras o legumbres, se acostumbra a tirar el agua sobrante. Si en lugar de tirarlo por el desagüe se guarda y se utiliza para regar las plantas, estas ahorrando una gran cantidad de agua de una forma muy sencilla.

Coloca platos bajo las macetas. Esta es una manera fácil de utilizar toda el agua de riego. Lo que les sobra a unas plantas lo puedes destinar para otras. El excedente de agua quedará en el plato o cuenco que coloques bajo la planta, el cual te servirá para seguir regando.

La mayoría de las veces, el agua residual del hogar tiene que ser sometida a un tipo de tratamiento para poder ser reutilizada, como es el caso del agua residual de lavadora doméstica.

En los hogares dentro de las actividades que generan un gasto excesivo de agua, es el lavado de ropa. Aunque esta actividad sea rutinaria e indispensable en la calidad de vida humana, lavar dos o tres cargas de ropa por semana incluye un gasto de entre 40 y 60 litros de agua por carga, puesto que, el proceso consta regularmente de cuatro etapas; remojo, lavado, enjuague y secado.

Según la norma oficial NOM-005-ENER-2016 “Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, métodos de prueba y etiquetado.” El Factor de Consumo de Agua (FCA), será declarado por el fabricante y el consumo real dependerá de los usos y hábitos del usuario (Norma Oficial Mexicana, 2021). La revista el consumidor se dio a la tarea de realizar estudios de calidad en las lavadoras de ropa electrodomésticas, entre sus resultados, las marcas más compradas en la Ciudad de México y zona metropolitana se muestran en la tabla 9. La lavadora de ropa electrodoméstica, Daewoo DWF- 300 PFR, es la más accesible en cuanto a precio, sin embargo, lideró en consumo de agua, con 305 litros por ciclo completo de lavado, casi 575% más que el promedio de las más ahorradoras, que está alrededor de 53 litros (Procuraduría Federal del Consumidor , 2021).

Es importante mencionar que, no hay normas sobre el desecho de agua de lavadora de casa habitación y el reúso del agua, sin embargo, ahorrar el agua y desecharla con la menor cantidad de contaminantes al drenaje ayuda al medio ambiente y por consiguiente a nosotros mismos.

Tabla 9. Precios mínimos de marcas de lavadora doméstica más compradas en la Ciudad de México y zona metropolitana.

Marca Modelo/ País de origen	Precio mínimo
Frigidaire FAFS4073NW / EU	\$ 11,599
Maytag 7MMHW7000Y / México	\$ 21,143
LG WM2650HWA / Corea	\$ 12,799
Whirlpool 7MFW95HEY / México	\$ 21,663
Maytag 7MMVWC416FW / EU	\$ 7,999
Samsung WF431ABP/XAX / Corea	\$ 17,199
Mabe Aqua Saver LHS17480PKBAB0 (Grado ecológico) / México	\$ 7,180
Whirlpool 7MWTW1711YM / EU	\$ 5,990
Easy LIE17385XBB0 / México	\$ 6,499
Easy LAE17500XBB / México	\$ 5,999
Frigidaire FAH4044MW / México	\$ 7,999
Daewoo DWF-300PFR / Corea	\$ 5,999

Por otra parte, el Laboratorio Nacional de Protección al Consumidor se dio a la tarea de realizar un Estudio de Calidad en lavadoras automáticas de uso doméstico empleando una tira de cuadros de tela de algodón con distintos tipos de manchas para evaluar las características del lavado: sebo, carbón y aceite mineral, sangre, chocolate, vino tinto, sin mancha. El mayor consumo de agua (Muy alto) lo presentó la lavadora Samsung WA19J6750LV con 332 litros por ciclo completo de lavado, 78% más agua que el promedio consumido por las lavadoras similares de carga superior, posiblemente porque realizó un enjuague extra. Los consumos más bajos lo obtuvieron las lavadoras de llenado frontal pues no superan los 65 litros, seguidos por Koblenz LWM27IIB (carga superior) que sólo requiere 81 litros por ciclo completo de lavado (consumo “Bajo”). Las lavadoras que presentaron mejor desempeño de lavado fueron: MAYTAG y Mabe utilizando el detergente sintético

(Ariel líquido concentrado), con una dosificación de 36 mL + 10.7 mL, por cada kg de carga con agua fría a temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y agua caliente a $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Laboratorio Nacional de protección al Consumidor, 2021).

Al ser los detergentes sintéticos los más utilizados en el proceso de lavado, es importante conocer sus principales características.

- Surfactantes: sustancias sintéticas de superficie activa, que proveen a los detergentes la capacidad de limpieza (Othmer K. , 1947).
- Agentes suavizadores: Estas sustancias reducen la dureza del agua, suministran las condiciones óptimas para la remoción de la suciedad, facilitan la solubilidad de todos los componentes del detergente, promueven la dispersión de la suciedad y evitan que se vuelva a depositar en el tejido (Othmer K. , 1947).
- Agentes eliminadores de manchas: Se encargan de degradar las grasas para que puedan ser removidas de los tejidos (Austin, 1998).
- Abrillantadores ópticos: Sustancias fluorescentes que se encargan de que la ropa se vea más blanca o que los colores queden más vivos (Othmer K. , 1947).
- Reguladores de espuma: Son necesarios para que los surfactantes realicen una limpieza eficiente (Austin, 1998).
- Inhibidores de la corrosión: Sustancias que se añaden para proteger los objetos que se lavan. El más utilizado es el silicato de sodio (Austin, 1998).
- Perfumes: Dan olor a la ropa
- Potenciadores o constructores: Retienen el calcio y el magnesio que pueda haber en el agua, y evitan que la suciedad se vuelva a depositar en el tejido (Austin, 1998).

5 Tipos de tratamientos en el agua residual de lavadora doméstica.

Como ya se mencionó anteriormente, la principal aplicación de los detergentes sintéticos, es en el lavado de ropa casera y aseo personal. Los detergentes son compuestos orgánicos sintéticos, que disminuyen la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. El cambio en la tensión superficial se debe a la presencia de una sustancia activa llamada surfactante (Cardeñas, 2000).

En la actualidad, se utilizan grandes cantidades de detergentes sintéticos en actividades tanto industriales como humanas. Generalmente, los detergentes se encuentran en las aguas residuales en concentraciones de 1 a 20 mg/L, se tiene que el límite máximo permisible para la descarga de efluentes que contienen detergentes aniónicos es de 0.5 mg/L. Por lo que estos compuestos son una fuente de contaminación del agua (Salager & Fernández , 2004). Cabe mencionar que, el agua residual de lavadora doméstica puede contener: suavizantes de telas, hipoclorito de sodio (comúnmente conocido como clarasol), compuestos orgánicos como; la grasa del cuerpo y sudor humano, hilos de ropa, papel higiénico, partículas provenientes de la tierra, entre otros. Por lo tanto, tratar este tipo de efluentes es difícil, debido a la complejidad del agua residual. El reto consiste en separar los contaminantes eficientemente a bajo costo. A continuación, se describirán algunos tratamientos propuestos para tratar aguas residuales provenientes de los ciclos de lavado en el hogar.

5.1 Tratamiento biológico aeróbico

El tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en la función natural de las bacterias para cerrar los ciclos elementales (por ejemplo, de C, N y P). Se utilizan bacterias que naturalmente proliferan en el medio ambiente. En el empleo de un reactor biológico se mantiene una alta concentración de microorganismos, los cuales se encuentran en suspensión o pegados a las paredes del reactor. El mecanismo de oxidación biológica consiste en que los microorganismos producen una enzima que se encarga de degradar la molécula de los detergentes, para poder utilizarla como fuente de carbono (López Vázquez , Buitrón Méndez , Cervantes García , & Hernández García , 2017).

La desventaja de este tratamiento se enfatiza en la economía y espacio. Actualmente, debido al aumento de la población en México, la construcción de pequeños y prácticos departamentos se ha visto en aumento, por lo que, la adaptación de un reactor aeróbico para el tratamiento de agua residual de lavadora doméstica en un espacio tan pequeño, conlleva a reducir aún más el espacio de vivienda. Por otro lado, al ser un espacio tan reducido, el olor desagradable que se desprende del tratamiento, se penetra con mayor facilidad en el hogar. Es importante recalcar que, la inversión que debe realizarse en la construcción del reactor y de la estructura para la adaptación del proceso puede considerarse muy elevada.

5.2 Método de electrocoagulación

La electrocoagulación para Restrepo, Arango y Garcés, (Barco Ríos , Rojas Calderón, & Restrepo Parra , 2012) se define “como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales”. La electrocoagulación en su proceso lleva a cabo la electrólisis, la cual esta consignada en las leyes de Faraday, (Ríos Gutiérrez , 1984), explica que “la conducción de la corriente por una disolución de un electrolito va acompañada de cambios químicos que tienen lugar en los extremos del conductor introducido en la disolución” (Ríos Gutiérrez , 1984). Para su estudio es necesario emplear corriente continua; con el fin de facilitar el proceso se conectan placas metálicas, que son las que se introducen en la disolución, estas placas reciben el nombre de electrodos, en ellos se producen los cambios químicos que la corriente origina. Al electrodo conectado al polo negativo se le llama cátodo y al electrodo conectado al polo positivo se le llama ánodo (Ríos Gutiérrez , 1984).

La desventaja de este tratamiento es el consumo eléctrico, el costo de las placas de acero inoxidable o aluminio y la inversión de reactivos, equipo y material para la realización de la celda electroquímica, aproximadamente necesitarías una inversión alta.

5.3 Floculación – coagulación.

El proceso de coagulación–floculación consiste en añadir al agua o agua residual, determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos.

Generalmente la coagulación se entiende como el proceso de desestabilización de los coloides. Se eliminan las propiedades que les hacían mantenerse en suspensión. El mecanismo básico de desestabilización es anular las cargas eléctricas. Para ello se utilizan reactivos químicos que tienen la propiedad de producir la coagulación (Russell, 2019).

La floculación por su parte es el proceso que sigue a la coagulación, este consiste en agitar la masa coagulada formada previamente, para generar un tipo de asociación coloide-coagulante o los conocidos “flóculos”, que permite el crecimiento y su aglomeración con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar con mayor facilidad. Los flóculos puntiformes comienzan a crecer. Un complemento necesario para la desestabilización es la inducción de partículas primarias para acercarse lo suficientemente juntas, hacer contacto y formar progresivamente aglomerados más grandes. Esta etapa del proceso general es denominada floculación (Bratby, 2016).

Para lograr que un coloide decante se tiene que inestabilizar previamente, se produce al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, esto se logra con la dosificación de reactivos químicos al agua que se va a tratar, son conocidos como: coagulantes, los coagulantes más eficaces son los iones metálicos divalentes y trivalentes, generalmente hierro y aluminio, pero pueden incluir calcio, magnesio y manganeso, entre ellos encontramos al sulfato de alúmina, cloruro o sulfato de hierro, polímeros inorgánicos de aluminio y hierro (Galvín Marín , 2003).

Los coagulantes metálicos comúnmente utilizados se dividen en dos categorías generales: los basados en aluminio y los basados en hierro. Los coagulantes de aluminio incluyen sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, aluminato de sodio, clorhidrato de aluminio, cloruro de polialuminio, cloruro de sulfato de polialuminio, cloruro de silicato de polialuminio y formas de cloruro de polialuminio con polímeros orgánicos. Los coagulantes de hierro incluyen sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico, sulfato de cloruro férrico, sulfato poliférrico y sales férricas con polímeros orgánicos. Otros productos químicos utilizados como coagulantes incluyen la cal hidratada y el carbonato de magnesio (Bratby, 2016). El tratamiento de floculación – coagulación, es un excelente tratamiento que no requiere de mucha inversión y que puede ser adaptado a las necesidades de tiempo y espacio de la comunidad.

5.3.1 Tipos de coagulantes usados en el tratamiento de floculación – coagulación

Cuando una sal metálica, fundamentalmente de aluminio o hierro se añade al agua, se originan una serie de reacciones de hidrólisis, formándose un conjunto de sustancias de tipo complejo de cargas multivalentes, que son los responsables del proceso de coagulación. Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso, sulfato férrico y el cloruro-sulfato férrico.

5.3.2 Sulfato ferroso y sulfato férrico

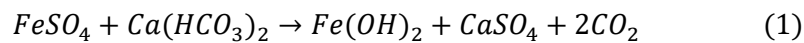
Sulfato ferroso: Se usa generalmente junto con cal o junto con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. La reacción de $FeSO_4$ con cal hidratada se ve favorecida a pH altos, alrededor de 9.5. El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/m^3 . Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2.8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico (Rivas Lozano & Rivas Lozano , 2015). En la figura 3, se muestra el reactivo, sulfato ferroso.



Figura 3. Reactivo químico, sulfato ferroso (Wikipedia, 2021).

Reacción del sulfato ferroso con la alcalinidad del agua.

Ecuación 1, formación de hidróxido de hierro (II), sulfato de calcio y 2 moléculas de dióxido de carbono.



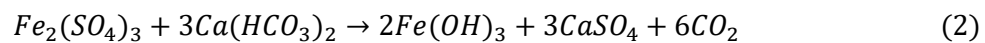
Sulfato férrico: El sulfato férrico está disponible comercialmente en forma granular de color marrón rojizo. Es muy soluble en agua, puede reaccionar con la alcalinidad de agua o con materiales alcalinos añadidos como la cal. El rango de pH debe estar entre 4 a 7 y mayor que 9. El sulfato férrico es muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es 1000 kg/m^3 . Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez (Rivas Lozano & Rivas Lozano , 2015). En la figura 4, se muestra el reactivo, sulfato férrico.



Figura 4. Reactivo químico, sulfato férrico (Wikipedia, 2021).

Reacción del sulfato férrico con la alcalinidad del agua.

Ecuación 2; formación de 2 moléculas de hidróxido de hierro (III), 3 moléculas de sulfato de calcio y 6 moléculas de dióxido de carbono.



5.3.3 Cloruro férrico

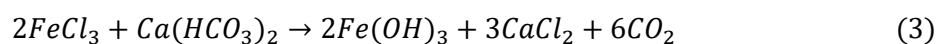
Está disponible en forma sólida y líquida, se genera por la oxidación de sulfato ferroso con cloro. Este método tiene la ventaja de que la coagulación puede ser llevada bajo diferentes pH (entre 4.8 y 11). Es usado en tratamiento de aguas residuales. Reacciona con la alcalinidad de agua y con los compuestos alcalinos añadidos. Al disolverse en agua, se hidroliza y produce una reacción exotérmica, liberando calor y se obtiene una solución de color marrón. En medio acuoso ligeramente básico reacciona con el ion hidróxido para formar flóculos de $FeO(OH)^-$, que puede eliminar los materiales en suspensión. En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso $FeCl_2$. Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de los recipientes de almacenamiento, de preparación y de distribución (Bratby, 2016) (Rivas Lozano & Rivas Lozano, 2015). En la figura 5 se muestra el reactivo, cloruro férrico.



Figura 5. Reactivo químico, cloruro férrico (Wikipedia, 2021).

Reacción del cloruro férrico con la alcalinidad del agua.

Ecuación 3; formación de 2 moléculas de hidróxido de hierro (III), 3 moléculas de cloruro de calcio y 6 moléculas de dióxido de carbono.



5.3.4 Policloruro de aluminio

Se comercializa como un líquido de color ambarino. Se emplea en la potabilización de aguas superficiales y en el tratamiento de efluentes líquidos residuales. Su función es la de coagular y acelerar la sedimentación de sólidos en suspensión modificando el potencial zeta de los líquidos a tratar neutralizando las fuerzas de repulsión. Por todas estas características es un inmejorable producto que una excelente prestación en el tratamiento de las aguas y efluentes líquidos, sin producir ningún tipo de contaminación ni interferencia. Cuando se utiliza en el tratamiento de aguas, brinda una velocidad de floculación mayor a la obtenida con otros coagulantes inorgánicos. Debido a la polimerización de su molécula permite una alta captación de contaminantes (orgánicos e inorgánicos). Además, permite trabajar en un amplio rango de pH 6-9, eliminando así ajustes de pH siempre y cuando se trabaje en este pH (Pérez Carrión & Galvis Pérez , 1992).

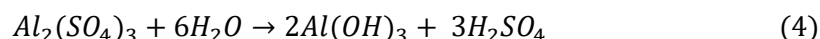
5.3.5 Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es el coagulante más usado en el tratamiento de agua. Es un sólido de color grisáceo. En la figura 6, se muestra el reactivo, sulfato de aluminio. Se le conoce como alúmina o alumbre, reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos. Presenta algunas ventajas en cuanto a costo y disponibilidad, además de que se obtienen buenos resultados frente a aguas residuales de procesos similares a los valorados en el presente trabajo, los rangos de pH que recomienda la literatura son 4, 5-8, por otra parte, la literatura recomienda que la dosis requerida del agente coagulante debe obtenerse por experiencias de ensayos de laboratorio en las pruebas de jarras (Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2021).

Cuando se añade Al^{3+} como coagulante en forma de sulfato, una pequeña parte de estos iones trivalentes se dirigen a neutralizar las cargas negativas del coloide, mientras que, simultáneamente, la mayor parte reacciona con agua formando hidróxido insoluble, según la reacción: (Pérez Carrión & Galvis Pérez , 1992).

Reacción del sulfato de aluminio con agua.

Ecuación 4; formación de 2 moléculas de hidróxido de aluminio y 3 moléculas de ácido sulfúrico.



Por un mecanismo independiente, el hidróxido insoluble atrapa los coloides neutralizados y facilita su sedimentación. El ácido formado en la reacción anterior reacciona con la alcalinidad bicarbonatada, que normalmente está presente, sin llegar a requerir neutralización con cal.

Reacción del sulfato de aluminio con la alcalinidad del agua.

Ecuación 5; formación de 2 moléculas de hidróxido de aluminio, 3 moléculas de sulfato de calcio y 6 moléculas de dióxido de carbono.

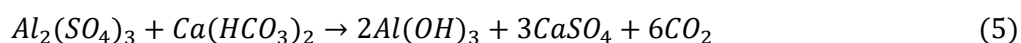




Figura 6. Reactivo químico, sulfato de aluminio (Wikipedia, 2021).

De los coagulantes mencionados anteriormente para el proceso de floculación – coagulación, el cloruro férrico y sulfato de aluminio, son los únicos que se encuentran en el mercado al alcance de la comunidad, en las tiendas de instrumentación y venta de reactivos químicos. Por esta razón, en esta tesis, se probará la efectividad de estos dos coagulantes en el tratamiento de efluentes provenientes de lavadoras domésticas.

6 Diseño experimental de un tratamiento de floculación-coagulación para aguas residuales de lavadoras domésticas.

Debido a la complejidad de los efluentes provenientes de lavadora, se eligió el proceso de floculación - coagulación, por ser un proceso fácil, práctico, a un bajo costo y con mayor accesibilidad para la comunidad que desee plantear el diseño experimental en casa, para poder tratar y reutilizar el agua residual de lavadora doméstica. Por consiguiente, en esta tesis, se propone realizar unas pruebas de jarras y después la construcción de un filtro, con el fin de obtener agua tratada y que se pueda reusar.

6.1 Material y equipo utilizado para el diseño del tratamiento de aguas residuales de lavadora doméstica.

El diseño de este sistema para el tratamiento de agua residual de lavadora, está enfocado en la reutilización del agua desechada después del proceso de lavado y generar una disminución en el consumo del recurso.

Para el diseño del tratamiento del agua residual de lavadora doméstica, se necesitarán distintos materiales y reactivos para el proceso de floculación – coagulación y la construcción del filtro con carbón activado y algodón. En la tabla 10, se enlistan los materiales y reactivos para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual doméstica. En la figura 7, se muestran los materiales y reactivos utilizados para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual de lavadora doméstica.

Materiales y reactivos

Tabla 10. Materiales y reactivos para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual de lavadora doméstica.

Material	Cantidad	Reactivos	Cantidad
Recipiente 20 L	1	Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	200 g
Envase plástico 1 L	1	Cloruro férrico $FeCl_3$	200 g
Recipiente de almacenamiento 20 L	1	Algodón	1 bolsa
Tubo de acero inoxidable	1	Carbón activado	200 g
Lavadora doméstica MIDEA, 11 kg	1	Hipoclorito de sodio	10 mL
Balanza electronic kitchen scale	1		
Vaso de precipitado de 80 mL	1		
Agitadores de vidrio	5		
Soplete de gas natural	1		
Envases de plástico con capacidad de 60 mL	5		
Tubo de metal (acero inoxidable)	1		
Kit de medición, pH, conductividad y sólidos disueltos totales.	1		



A



B



C



D



E



F



G



H



I



J



K

Figura 7. Materiales y reactivos utilizados para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual de lavadora doméstica. A) sulfato de aluminio, B) cloruro férrico, C) carbón activado, D) algodón, E) balanza electrónica kitchen scale, F) soplete de gas natural y tubo de acero inoxidable, G) Kit de medición, pH, conductividad y sólidos disueltos totales, H) agitadores de vidrio, I) envase de plástico con capacidad de 60 mL, J) envase de plástico, K) vaso de precipitado con capacidad de 80 mL.

6.2 Pruebas de jarras para los efluentes provenientes de lavadora doméstica.

La prueba de jarras, sirve para, determinar si el efluente puede ser tratado de manera adecuada y con la efectividad deseada mediante tratamiento de floculación – coagulación, así como las cantidades necesarias de coagulante y en las mejores condiciones. En este proyecto se realizaron las pruebas de jarras con dos coagulantes; sulfato de aluminio y cloruro férrico, con la finalidad de conocer, cual tiene mayor efectividad en el tratamiento de floculación – coagulación para el agua residual de lavadora doméstica (Cisneros, 2001). Cabe mencionar que se eligieron estos coagulantes por su disponibilidad y precio en el mercado.

Generalmente, la coagulación es un tratamiento bien conocido que, mediante la adición de un químico (como sales de Al^{3+} y Fe^{3+} y/o polímeros orgánicos), desestabiliza las partículas pequeñas en suspensión. Tales partículas, después de la neutralización eléctrica, tienden a acumularse y formar flóculos coagulados de 20–50 μm de tamaño. Reactivos de floculación, constituidos por polímeros o polielectrolitos de cadena larga, reforzar la formación de flóculos y la cohesión (Ciabatti, Cesaro, Faralli, Fatarella, & Tognotti, 2008).

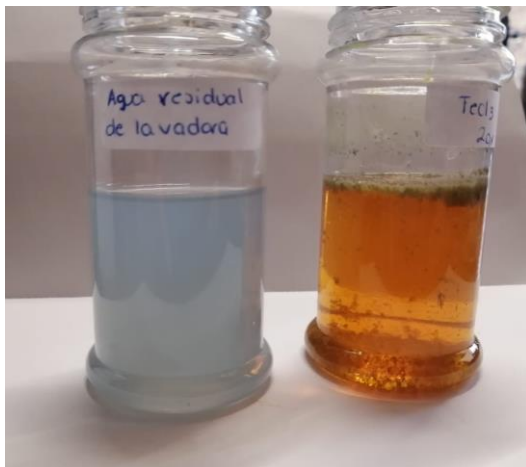
La coagulación desestabiliza las cargas de las partículas, los coagulantes con cargas opuestas a las de los sólidos en suspensión, se agregan al agua para neutralizar las cargas negativas sobre sólidos dispersos no decantables tales como arcilla y sustancias orgánicas. Una vez que la carga se neutraliza, las partículas suspendidas pequeñas son capaces de pegarse unas a otras. Las partículas, un poco mayores, formadas a través de este proceso se llaman microflóculos y resultan ser demasiado pequeñas para ser visibles a simple vista. Se necesita una mezcla o agitación rápida, de alta energía, para dispersar adecuadamente el coagulante y promover las colisiones de partículas, consiguiendo una buena coagulación y formación de los microflóculos. El exceso de mezcla no afecta la coagulación, pero de ser insuficiente dejará este paso incompleto. El tiempo de contacto adecuado en la cámara de mezcla rápida es típicamente de 1 a 3 minutos.

El paso siguiente a la coagulación es la floculación, etapa donde se realiza una mezcla suave, que aumenta el tamaño de las partículas de microflóculos submicroscópicos a partículas suspendidas visibles. Estos microflóculos se ponen en contacto entre sí mediante el proceso de mezcla lenta. El choque de las partículas de microflóculos hace que se unan para producir flóculos más grandes y visibles. El tamaño del flóculo continúa creciendo a través de choques o colisiones adicionales y la interacción con polímeros inorgánicos formados por el coagulante o polímeros orgánicos añadidos, formando así los llamados macroflóculos. Se pueden agregar polímeros de alto peso molecular, llamados floculantes, durante este paso se ayuda no sólo a unir y a hacer más grande el flóculo, sino también a aumentar el peso y la velocidad de sedimentación. Una vez que el flóculo ha alcanzado su tamaño y resistencia adecuados, el agua está lista para el proceso de separación (sedimentación, flotación o filtración).

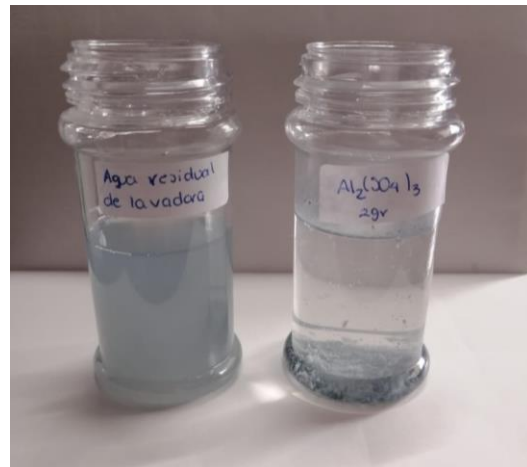
6.3 Prueba de jarras utilizando como coagulante Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y Cloruro férrico $FeCl_3$

El ensayo consistió en colocar agua residual en vasos de precipitado y se añadió, progresivamente, diferentes cantidades de coagulante. Se sometió al juego de vasos (“jarras”) a una agitación rápida para homogeneizar el medio, posteriormente, a una lenta para favorecer la formación del flóculo. Pasados 60 minutos, se dejó los vasos en reposo y se realizó el siguiente proceso del tratamiento. En este proyecto se utilizaron dos coagulantes; sulfato de aluminio y cloruro férrico, con la finalidad de conocer, cual tiene mayor eficiencia en el tratamiento de floculación – coagulación para el agua residual de lavadora doméstica (Jiménez & Elena, 2001). La efectividad del cloruro férrico como coagulante en los efluentes de lavadora doméstica se muestra en la figura 8 A), del lado izquierdo (agua sin tratar), se observa agua sucia y turbia, del lado derecho, se presenta la muestra tratada con el coagulante cloruro férrico, la cual presenta aglomeración suspendida en el agua, además de un color “marrón claro”, característico del cloruro férrico. En la figura 8 B) del lado izquierdo se muestra agua proveniente de lavadora con turbidez y con un color “gris”, del lado derecho se muestra el agua tratada con sulfato de aluminio, pasados los 60 min, el agua se presenta translúcida y en la parte baja se observa un precipitado color gris. Por lo tanto, el sulfato de aluminio es mejor coagulante para tratar efluentes provenientes de lavadora doméstica y se prosiguió a conocer las cantidades necesarias para tratar el agua de lavadora.

Es importante destacar que, durante el desarrollo de este proyecto, se tuvieron limitaciones de pesaje con la balanza electronica kitchen scale, ya que, este tipo de balanzas tiene una lectura de pesaje a partir de dos gramos. También mencionar que, no se tuvieron las condiciones adecuadas para determinar el pH óptimo, ya que, no se tuvieron los reactivos para ajustar el pH y así después conocer la dosis de coagulante para realizar la prueba de jarras.



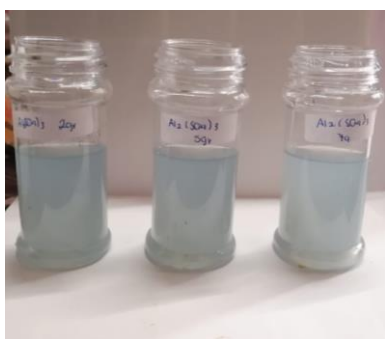
A



B

Figura 8. Comparación del proceso de floculación-coagulación. A) Proceso con 2 gramos de cloruro férrico como coagulante, B) Proceso con 2 gramos de sulfato de aluminio como coagulante.

1. En cinco recipientes, se añadieron 60 mL de agua residual de lavadora doméstica. En la figura 9, se muestran las fotografías de los recipientes con las diferentes cantidades de sulfato de aluminio.
2. Se colocaron en los cinco recipientes, diferentes dosis, tabla 11, del coagulante de sulfato de aluminio.
3. Se mezcló rápido durante 1 min, después a una velocidad constante, se mezcló durante 5 min.
4. Se dejó sedimentar por 60 minutos y se visualizó, con qué cantidad de coagulante se llevó de manera más eficiente el proceso de floculación – coagulación. En la figura 10 se muestra la prueba de jarras del agua residual de lavadora doméstica, con las distintas cantidades de sulfato de aluminio.
5. Se determinó que el recipiente número 1, que contiene 2 gramos de sulfato de aluminio como coagulante fue el más eficiente, ya que realizó mejor el proceso de floculación-coagulación al mostrar mayor formación de flóculos y menor turbidez.
6. Se realizó el cálculo para conocer la dosis con la que se trabajaron los 40 L de agua residual, se estimó 100 gramos de sulfato de aluminio.



A



B

Figura 9. Se muestran las fotografías de los recipientes con las diferentes cantidades de sulfato de aluminio, utilizado como coagulante en el proceso de floculación – coagulación. A) De izquierda a derecha, recipientes con 2, 5 y 7 gramos de sulfato de aluminio, B) De izquierda a derecha, se muestran los recipientes con 10 y 13 gramos de sulfato de aluminio.

Tabla 11. Letra de recipiente y cantidad del coagulante sulfato de aluminio utilizado para la prueba de jarras.

Prueba	Cantidad de $Al_2(SO_4)_3$ en gramos.
A	2
B	5
C	7
D	10
E	13

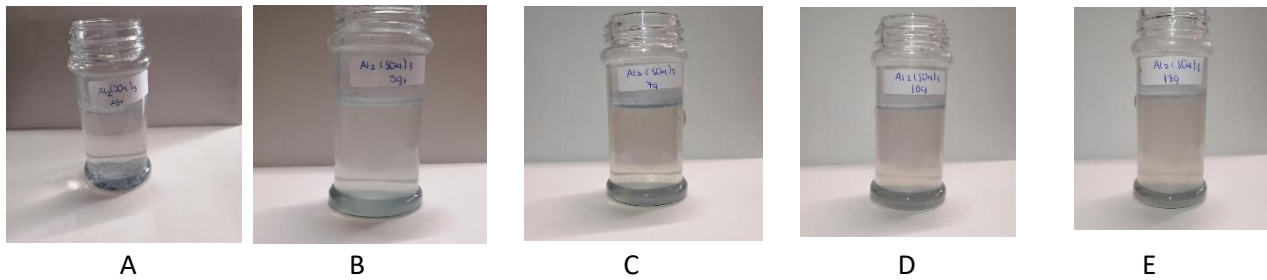


Figura 10. Prueba de jarras del agua residual de lavadora doméstica, con las distintas cantidades de coagulante, sulfato de aluminio. A) representa el agua residual con 2 gramos de sulfato de aluminio, B) con 5 gramos de sulfato de aluminio, C) con 7 gramos de sulfato de aluminio, D) con 10 gramos de sulfato de aluminio y por último E) con 13 gramos de sulfato de aluminio.

Con base a las pruebas de jarras realizadas, en el proceso de floculación – coagulación para el agua residual de lavadora doméstica, el coagulante con mayor eficacia fue el sulfato de aluminio, ya que, realizó mayor formación de flóculos, removió la mugre con mayor facilidad y su sedimentación fue eficaz. Otra de las ventajas al usar sulfato de aluminio como coagulante, es el costo, éste tiene un costo de \$22.36 (pesos mexicanos cotizado en diciembre de 2020) por cada 100 gramos, mientras que el cloruro férrico cada 100 gramos tienen un costo de \$36 (pesos mexicanos cotizado en diciembre de 2020), ambos reactivos pueden conseguirse en alguna tienda de instrumentos y reactivos químicos, sin embargo, es de menor costo la utilización del sulfato de aluminio como coagulante en el proceso de floculación- coagulación para el tratamiento de agua residual de lavadora doméstica. Así que, el sulfato de aluminio es el mejor coagulante para continuar con el proceso de filtración por medio de un filtro con carbón activado y algodón.

6.4 Diagrama para la propuesta de construcción del filtro de carbón activado y algodón.

Una vez que se conoció el mejor coagulante, se procedió a la construcción de un filtro. En la figura 11, muestra un diagrama de la propuesta de construcción del filtro con carbón activado y algodón. La finalidad del carbón activado es eliminar las impurezas y retener los sólidos disueltos del proceso de mezclado, en seguida, la capa de algodón se encarga de filtrar cualquier residuo que haya logrado pasar en la capa de carbón activado.

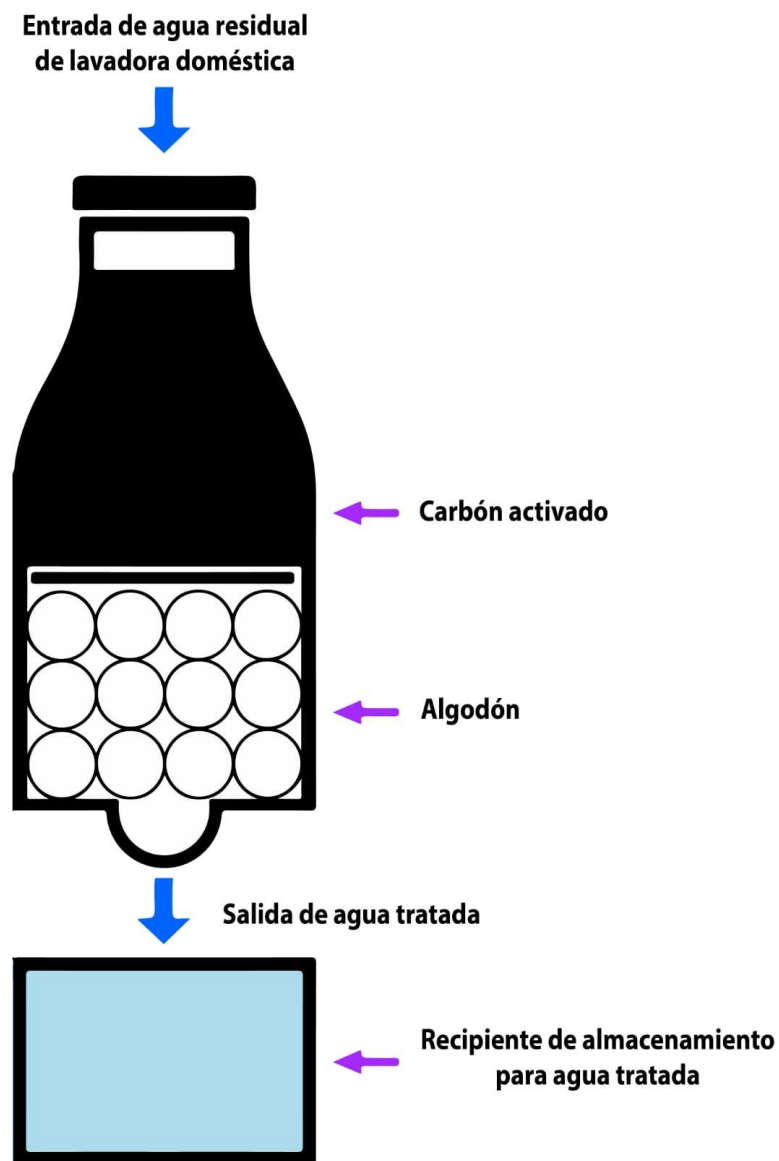


Figura 11. Diagrama de la propuesta de construcción del filtro de carbón activado y algodón para el tratamiento de agua residual de lavadora doméstica.

6.5 Construcción de un filtro con algodón y carbón activado.

1. El filtro de carbón activado contuvo como primera capa: carbón activado y como segunda capa, algodón. En la figura 12, se observa el proceso de construcción del filtro de carbón activado y algodón.
2. El recipiente que contiene el filtro, consta de un envase de plástico con una capacidad de 1L, en la parte superior cuenta con una tapa con un diámetro de 7 cm, por la cual se introdujo el agua residual resultante de la lavadora doméstica Midea.
3. En la parte inferior se realizó un orificio de 2 cm de diámetro con la ayuda de un tubo caliente y un soplete de gas natural. Es importante destacar que el tubo puede ser de acero, cobre, latón, aluminio o algún metal que pueda calentarse, así, como cualquier combustible que, se tenga al alcance. Se colocó lo más caliente y se realizó el orificio haciendo presión entre el envase y el tubo caliente. Este orificio tiene la función de dejar salir el agua residual de la lavadora que ya fue tratada en el filtro de carbón activado.

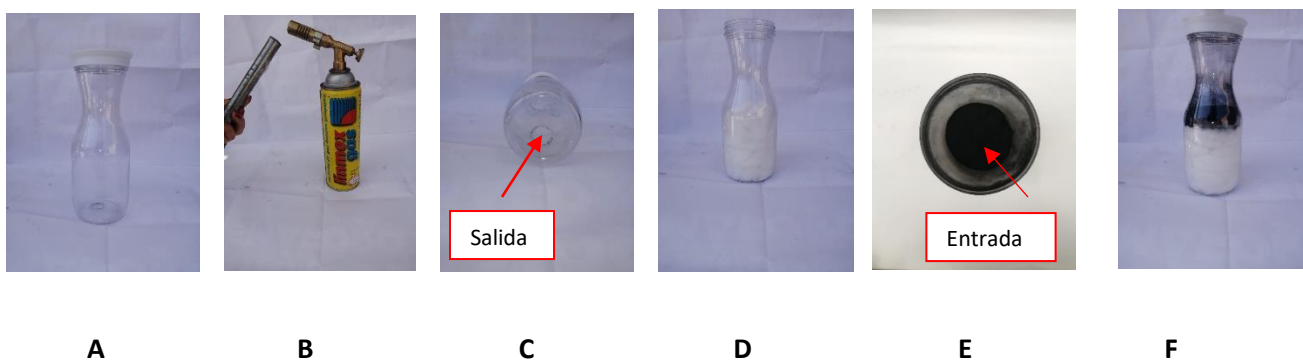


Figura 12. Construcción del filtro de carbón activado y algodón. A) envase de plástico para la construcción del filtro con carbón activado y algodón, B) uso de soplete de gas natural, para la perforación de la parte inferior del envase de plástico, C) envase de plástico con orificio inferior, D) colocación de la primera capa del filtro, algodón, E) colocación de la segunda y última capa, carbón activado, F) filtro terminado, construido con carbón activado y algodón.

6.6 Diagrama de flujo de proceso del tratamiento de floculación - coagulación para agua residual de lavadora doméstica.

A la ropa sucia introducida en la lavadora doméstica, se le añade jabón, suavizante y agua suministrada por la alcaldía de Azcapotzalco. Al término del ciclo de lavado, la ropa limpia sale por la línea secundaria para concluir con su proceso, el agua residual acumulada en el ciclo de lavado es el inicio del proceso de tratamiento. El agua desechada de la lavadora, es acumulada en **Tan 01**, donde se adiciona el coagulante $Al_2(SO_4)_3$, en el **Tan 01**, se mezcla rápidamente el agua con el reactivo químico, después, dejar reposar para que los sólidos suspendidos sedimenten. El agua obtenida del mezclado, se hace pasar manualmente por el filtro de carbón activado, **Fil 01**, para que, quede libre de residuos y pueda ser reutilizada en el proceso de lavado. El agua después de pasar por el filtro de carbono, es almacenada en **Tan 02**, para poder recircularla y ser reutilizada en el proceso de lavado. En la figura 13, se muestra el diagrama de flujo del proceso del tratamiento de floculación – coagulación para el agua residual de lavadora doméstica.

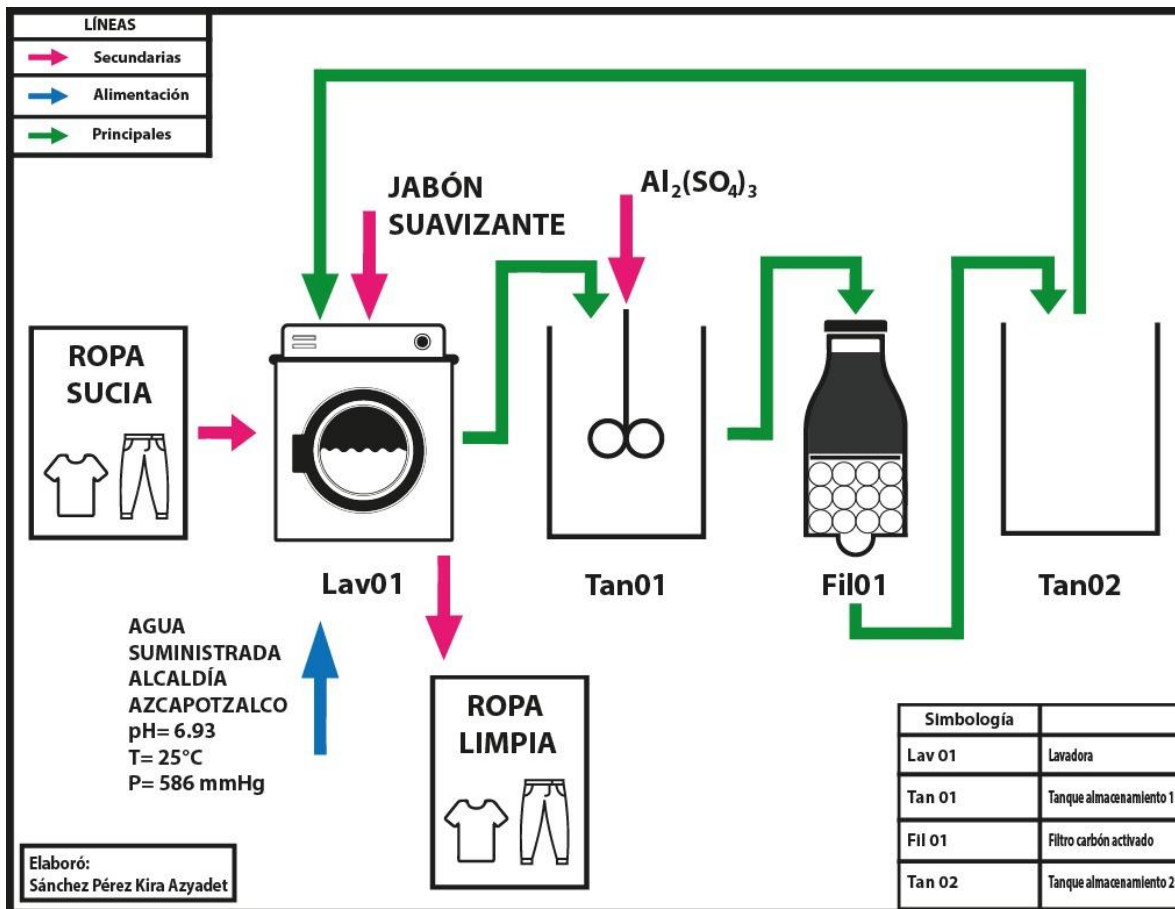


Figura 13. Diagrama de flujo del proceso del tratamiento de floculación – coagulación para el agua residual de lavadora doméstica.

6.7 Descripción del tratamiento de aguas residuales provenientes de lavadoras domésticas
Tanque 01.

En el **Tanque 01**, que cuenta con una capacidad de 20 L, se realizó el llenado con el agua residual proveniente, directamente de la manguera de drenaje de la lavadora doméstica, **LAV 01**. El agua se dejó reposar por un lapso de 24 horas. Pasadas las 24 horas, para el proceso de floculación – coagulación, se le agregó el coagulante, sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), en una dosificación de 100 gramos para el tratamiento. Al añadir el coagulante, el agua se sometió a una agitación vigorosa de 8 minutos y se dejó sedimentar durante 60 minutos. En la figura 14, se muestran los procesos de almacenamiento y agitación del proceso de floculación – coagulación para el agua residual proveniente de lavadora doméstica.



A



B

Figura 14. Proceso de floculación – coagulación para el tratamiento de agua residual proveniente de lavadora doméstica. A) tanque 01 (**Tan 01**), almacenamiento del agua residual proveniente de **Lav 01**, B) tanque 01 (**Tan 01**), proceso de agitación, después de, añadir el sulfato de aluminio como coagulante.

Filtro 01.

Después del proceso de floculación – coagulación el agua de **Tan 01**, se hizo pasar con la ayuda de una cubeta, por el filtro de carbón activado y algodón, **Fil 01**. En la figura 15, se muestra el proceso de filtración mediante el filtro 01 (**Fil 01**).



Figura 15. Proceso de filtración mediante **Fil 01**.

Tanque 02.

Al finalizar el proceso de filtración por **Fil 01**, el agua tratada es almacenada en el **Tan 02**, donde se almacenó y recirculó para el siguiente proceso de lavado. En la figura 16, se muestra el proceso de almacenamiento de agua tratada en el tanque 02 (**Tan 02**). Para la limpieza de **Fil 01**, se puede realizar un cambio de algodón y carbón activado



Figura 16. Proceso de almacenamiento de agua tratada el tanque 02 (**Tan 02**).

6.8 Análisis de resultados experimentales del tratamiento de agua residual proveniente de lavadora doméstica.

El resultado después de los procesos por los que pasa el agua residual de lavadora doméstica, coagulación, floculación y filtrado; es la obtención de agua tratada sin ningún residuo, que, puede ser reutilizada ya sea en el mismo proceso de lavado o bien, para cualquier actividad del hogar en donde no se necesite agua potable. En la figura 17, se muestran fotografías del proceso de almacenamiento, floculación – coagulación y filtración del tratamiento que se le dio al agua residual de lavadora doméstica.

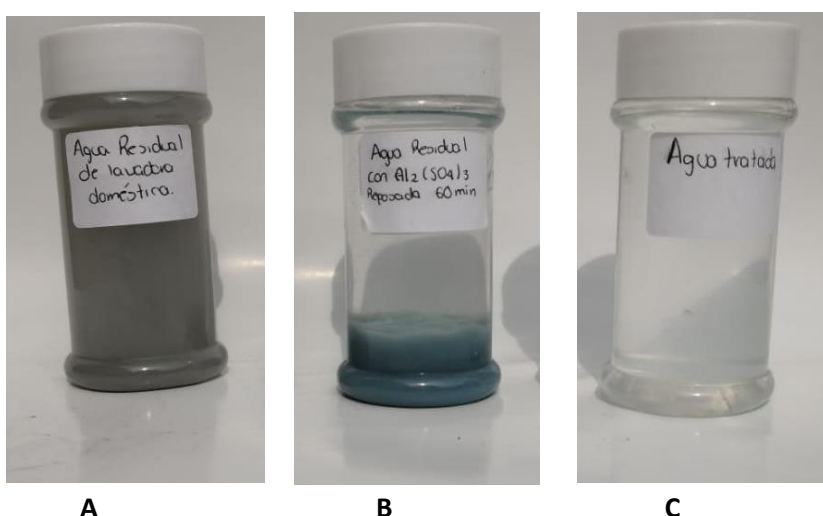


Figura 17. Cambios durante los procesos de almacenamiento, floculación – coagulación y filtración del tratamiento de agua residual de lavadora doméstica. A) Almacenamiento de agua residual de lavadora doméstica (**Tan 01**), proveniente de (**Lav 01**), B) proceso de floculación – coagulación del agua residual de lavadora doméstica (**Lav 01**), C) agua residual de lavadora doméstica, resultante del proceso de filtración (**Fil 01**), almacenada en (**Tan 02**).

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH que varía entre 6 y 8, mientras que en las aguas residuales es variable. Por otra parte, la conductividad eléctrica es un parámetro fundamental para los análisis de aguas residuales, puesto que, nos muestra la capacidad del agua para conducir la electricidad. Para el agua ultra pura los valores respectivos son de 18.24 Mohm/cm y 0.05483 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 ° C (Pérez Garrido, León Rodríguez, & Delgadillo García , 2017). Los sólidos disueltos, son los sólidos que atraviesan un filtro con poro de 0.45 μm . Se componen de sólidos suspendidos y disueltos. La fracción coloidal consiste de partículas con diámetro de 10^{-3} a 1 μm (Jiménez & Elena, 2001). Los sólidos suspendidos son los materiales no filtrables o no disueltos que pueden tener propiedades de sedimentación, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad (Pérez Garrido, León Rodríguez, & Delgadillo García , 2017).

En la Tabla 12, se muestran los resultados de las propiedades de conductividad y pH del agua suministrada por la alcaldía de Azcapotzalco (agua utilizada para el proceso de lavado de este proyecto), así como las propiedades del agua residual de lavadora doméstica, agua tratada con sulfato de aluminio y cloruro férrico, agua tratada resultante y las propiedades del agua tratada con hipoclorito de sodio (clarasol). En la figura 18, se muestra el montaje del equipo, para la medición de la conductividad y pH en la muestra de agua residual de lavadora doméstica.



Figura 18. Montaje del equipo, para la medición de conductividad y pH en la muestra de agua residual de lavadora doméstica.

Tabla 12. Resultados de las propiedades medidas en el agua residual de lavadora doméstica, agua tratada, agua con sulfato de aluminio, cloruro férrico, cloro y el agua suministrada por la alcaldía Azcapotzalco.

Propiedad	Unidades de medición	Agua Alcaldía Azcapotzalco	Agua residual de lavadora doméstica	Agua con $Al_2(SO_4)_3$	Agua con $FeCl_3$	Agua tratada con $Al_2(SO_4)_3$	Agua tratada con $Al_2(SO_4)_3$ Y $NaClO$ (3 mL de $NaClO$ por cada 20 L de agua tratada).
pH		6.93	8.62	3.71	5.02	3.65	3.67
Conductividad	ms	0.8399	3.25	8.62	3.26	6.98	7.05

El agua que es suministrada por la alcaldía de Azcapotzalco, se encuentra con un pH de 6.93, que, al aproximarse a un pH de 7, puede considerarse que es agua neutra, cuenta con una conductividad de 839.9 μS y tiene 288.6 ppm de sólidos disueltos totales. Al momento de ser utilizada en el proceso de lavado, donde se le adicionó jabón y suavizante, cambió de ser un pH neutro a un pH ligeramente alcalino; 8.62, su conductividad eléctrica aumentó, de 839.9 μS a 3250 μS , el incremento en el pH es debido a las sustancias agregadas durante el proceso de lavado, como los jabones, los cuales presentan un pH alcalino (8-10) (González Campaña , 2021). El incremento de la conductividad también es debido a las sustancias agregadas y a la “mugre” retirada durante el proceso de lavado. Después de agregarle el sulfato de aluminio y esperar el proceso de sedimentación, presentó cambios de las propiedades medidas, el pH disminuyó a 3.71 y la conductividad eléctrica incrementó a 8.62 mS. Con ayuda de un diagrama de Pourbaix de las diferentes especies del aluminio, figura 19, la disminución del pH, puede ser a un exceso de Al^{3+} , especie que prevalece en el pH de 3.65, ya que no se realizaron pruebas de jarras con cantidades más pequeñas de sulfato de aluminio. Y las soluciones de sulfato de aluminio son ácidas y su acidez puede variar de un proveedor a otro (Estadísticas de la industria Química , 2008). El incremento de la conductividad es debido al exceso de los iones Al^{3+} y SO_4^- . Posteriormente el agua tratada y filtrada con carbón y algodón, muestra un pH de 3.65 y una conductividad de 6.98 mS, no difieren mucho de la etapa anterior. Por lo que los iones Al^{3+} , no son retenidos en el filtro de carbón activado y la conductividad de la solución tratada disminuye a 7.05 mS, donde algunos iones que aportaban a la conductividad eléctrica, quedaron atrapados en el filtro junto con las aglomeraciones formadas.

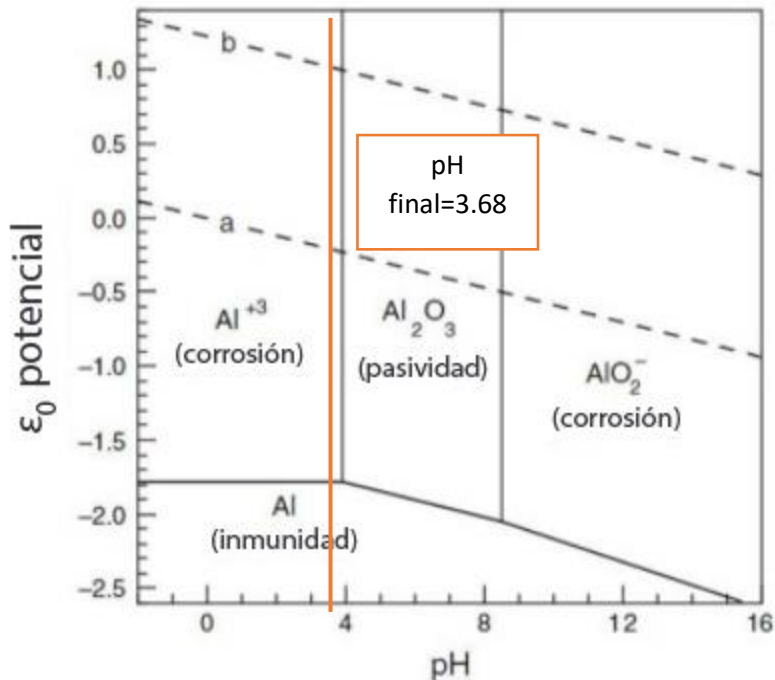


Figura 19. Diagrama de Pourbaix, $E=f(pH)$, de la estabilidad del Al^{3+} , Al_2O_3 y AlO_2^- .

Posteriormente, con el objetivo de reusar el agua tratada y filtrada, se le añadieron 3 mL de hipoclorito de sodio por cada 120 Litros de agua, para eliminar cualquier tipo de olor y evitar la formación de algunos tipos de microbios o bacterias. Al ser una base débil el hipoclorito de sodio, aumentó ligeramente las propiedades del agua tratada, el pH de 3.65, aumentó a 3.67, su conductividad de 6.98 mS incrementó a 7.05 mS. Para reusar el agua con las propiedades finales obtenidas, sería necesario realizar experimentos con cantidades más pequeñas con sulfato de aluminio. En este trabajo de tesis, el agua tratada se reusó para lavar otra carga de ropa, y debido a que los detergentes generan soluciones alcalinas, el agua se neutralizó. El proceso de lavado no se vio afectado, se obtuvo ropa limpia, sin olores diferentes a los habituales cuando se utiliza agua proporcionada por la Alcaldía Azcapotzalco de la Ciudad de México.

Por otra parte, es importante mencionar que, el aluminio es considerado con cierto grado de toxicidad al medio ambiente y a la salud humana (Iagua, 2022), por lo tanto, es importante dar alternativas para su desecho. La propuesta es confinarlos para posteriormente especialistas traten esos lodos de aluminio. Algunos autores proponen tratar los desechos de alúmina para producir materiales sostenibles a base de cemento (Shuqiong , y otros, 2019), otros autores proponen disolver los desechos de alúmina en ácido, los cuales podría utilizarse para preparar productos químicos de alúmina y así evitar el almacenamiento (Dash, Das, Tripathy, Bhattacharya, & Das, 2008).

7 Conclusiones

El proceso de lavado de ropa genera un gasto excesivo de agua, sin embargo, al plantearse el tratamiento de floculación – coagulación pudo ser tratada.

Mediante este tratamiento con sulfato de aluminio como coagulante y la construcción del filtro de carbón activado, el agua residual de lavadora doméstica fue tratada exitosamente y se puede reducir el consumo de agua en el hogar, específicamente en el proceso de lavado. Al realizarse las pruebas de jarras, el sulfato de aluminio mostró mayor formación de flóculos y pasados los 60 minutos, el agua se presentó traslucida y con un precipitado de color gris que sedimentó en la parte baja y facilitó la filtración, al contrario del cloruro férrico, que solo pintó el agua de color “marrón claro” y no logró la formación de flóculos, por lo tanto, con base a las pruebas realizadas, el sulfato de aluminio a las condiciones del agua suministrada por la alcaldía de Azcapotzalco, resultó ser un excelente coagulante.

El sistema construido para el tratamiento y reutilización del agua residual de lavadora doméstica, es un sistema fácil de construir adaptado a las necesidades de espacio, tiempo y con un costo muy accesible para la comunidad. La única limitante del diseño de este sistema, es que el proceso de floculación- coagulación y filtrado se realiza de manera manual y que, el agua obtenida del tratamiento no es apta para el consumo humano, ni apta para actividades en donde se necesita agua potable.

8 Sugerencias para mejorar los resultados de la presente investigación.

Más adelante, para el mejoramiento de este proyecto, sería indispensable la realización eficiente de la prueba de jarras, con el equipo, balanza, materiales y reactivos necesarios, con la finalidad de conocer el pH óptimo del agua a tratar y por consiguiente la dosis de coagulante. Cabe destacar que, si se cuenta con la posibilidad de conseguir policloruro de aluminio, podría utilizarse como coagulante en prueba de jarras, ya que, con base a distintos autores es parte de los coagulantes con alta eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Al proyecto podría adaptarse un sistema de tubería y motor eléctrico, para evitar que el proceso se lleve a cabo de manera manual, así también como la construcción del filtro de carbón activado con material que se adecue a la estructura de tubería. Por otra parte, al agua residual de lavadora doméstica, se le pueden medir más propiedades como son; la turbidez, sólidos disueltos totales, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, dureza y alcalinidad.

9 Referencias

- Arango Escobar, N., & Flórez Cardona, J. (2021). *Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso*. Obtenido de Proyecto de grado :
https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68576/1/uma%C3%B1a_sistema_recoleccion_almacenamiento_2012.pdf
- Austin, G. (1998). *Manual de procesos químicos en la industria*. México: McGraw Hill.
- Barco Ríos, H., Rojas Calderón, E., & Restrepo Parra, E. (2012). *Física : principios de electricidad y magnetismo*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. Londres : IWA Publishing.
- Cabrera Bermúdez, X., Fleites Ramírez, M., & Contreras Moya, A. M. (2021). *Estudio del proceso de coagulación floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del gramma" a la escala de laboratorio*. Obtenido de Tecnología Química :
<https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
- Cardeñas, A. (2000). *Tratamiento de aguas coagulación y floculación*. Perú: Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico.
- Carreño, L., & Augusto, C. (2016). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales*. Colombia: Ecoe.
- Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., & Tognotti, F. (2008). Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. *Desalination*, 9.
- Comisión nacional del agua . (2021). *Usos del agua* . Obtenido de Clasificación de los usos del agua:
<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>
- Dash, B., Das, B., Tripathy, B., Bhattacharya, I., & Das, S. (2008). Acid dissolution of alumina from waste aluminium dross. *ScienceDirect*, 48-53.
- Diario oficial de la federación . (2021). *Ley de aguas nacionales*. Obtenido de Disposiciones preliminares: <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/r274203.htm>
- Eddy, M. (1985). *Ingeniería Sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. Estados Unidos : Labor.
- Estadísticas de la industria Química , D. (2008). *Filial de PQ, corporation*. Obtenido de Estadísticas de la industria química:
[https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/Sulfato%20de%20Al.Sol.%20Libre%20de%20Fe\(to da%20LIT\).pdf](https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/Sulfato%20de%20Al.Sol.%20Libre%20de%20Fe(to da%20LIT).pdf)

- Estadísticas del agua en México . (2021). *Usos del agua*. Obtenido de Clasificación de los usos del agua :
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_3.pdf
- Galvín Marín , R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. España: Diaz de Santos.
- González Campaña , A. (2021). *Proyecto fin de carrera*. Obtenido de Ingeniería básica de planta de fabricación de detergente en polvo de 20.000 Tn/año:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5890/fichero/PFC-5890-CAMPA%C3%91A.pdf>
- Herrera Flores, S. (2021). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.:
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4485/semarnat1/semarnat1.htm>
- lagua. (2022). *La monitorización de aluminio reduce el riesgo y asegura el cumplimiento de la normativa*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/hach/monitorizacion-aluminio-reduce-riesgo-y-asegura-cumplimiento-normativa>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Información por entidad*. Obtenido de Clima:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema#:~:text=La%20temperatura%20m%C3%A1s%20alta%2C%20mayor,de%201%20200%20mm%20anuales.>
- Jennings, G. (2013). *Azteca*. Estados Unidos : Planeta México .
- Jiménez, B., & Marín, L. (2004). *El agua en México vista desde la academia*. México: Academia mexicana de ciencias.
- Jiménez, C., & Elena, B. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México, DF: Limusa.
- Laboratorio Nacional de protección al Consumidor. (2021). *Procuraduría Federal del Consumidor*. Obtenido de Lavadoras Automáticas:
<https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/lavadoras-automaticas?idiom=es>
- López Vázquez , C., Buitrón Méndez , G., Cervantes García , F., & Hernández García , H. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. Europa: IWA publishing.
- Martínez, F. J. (2016). *Historical evolution of body hygiene: from ancient to modern modern societies*. . México: Cultura de los ciudadanos.
- Massoumeh, M., & Kargari, A. (2017). Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: A strategy for water recycling in residential buildings. *Journal of Cleaner Production*, 12.
- Norma Oficial Mexicana. (2021). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Norma Oficial Mexicana NOM-005-ENER-2010, Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.:

<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3958/sener/sener.htm#:~:text=Que%20la%20Le y%20Federal%20sobre%20Metrolog%C3%ADa%20y%20Normalizaci%C3%B3n%20establec e%20que,de%20lavadoras%20de%20ropa%20electrodom%C3%A9sticas.>

- Normas Oficiales Mexicanas. (2021). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
Obtenido de Normas Oficiales Mexicanas:
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>
- Olivares Riveros, B. (2013). *Tratamiento de aguas residuales municipales en la Ciudad de México*.
México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ordoñez, J. (2018). *¿Cuánta agua consume un mexicano al día?* Obtenido de Milenio:
<https://www.milenio.com/politica/comunidad/cuanta-agua-gasta-un-mexicano-al-dia>
- Ordoñez, J. (2021). *¿Cuánta agua consume un mexicano al día?* *Corte de agua en CDMX*, pág. 1.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización. (2021). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*.
Obtenido de Aguas residuales : https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Othmer, K. (1947). *Enciclopedia de Tecnología Química*. México: Limusa.
- Othmer, K. (1947). *Enciclopedia de Tecnología Química*. México: Limusa.
- Pérez Carrión , J., & Galvis Pérez , C. (1992). *Análisis de flujos y factores que detrmnan los periodos de retención*. Perú: Programa Regional HPE/OPS/CEPIS.
- Pérez Garrido, C., León Rodríguez, F., & Delgadillo García , G. (2017). *Manual de Prácticas para Laboratorio*. Cuautitlan Izcalli: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán .
- Procuraduría Federal del Consumidor . (2021). *Revista el consumidor*. Obtenido de Estudio de Calidad, Lavadoras Automáticas:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100438/RC435_Estudio_Lavadoras_Automaticas.pdf
- Rico Galicia, A., Pérez Orta , R., & Castellanos Zoreda, J. (2008). *Química I, agua y oxígeno*. México: Comité editorial del Colegio de Ciencias y Humanidades.
- Ríos Gutiérrez , E. (1984). *Química*. España: Reverté.
- Rivas Lozano , W., & Rivas Lozano , G. (2015). *Potabilización del agua, principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Russell, D. L. (2019). *Practical Wastewater Treatment*. Georgia: Weley,Global Environmental Operations Inc.
- Salager, J., & Fernández , Á. (2004). *Surfactantes, generalidades y materias primas*. Venezuela: Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Secretaría de medio ambiente y recursos naturales . (2021). *Consulta temática*. Obtenido de Industria y medio ambiente :
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_INDUSTRIA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

- Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. (2021). *El medio ambiente en México*.
Obtenido de Agua y calidad:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_3.html
- Servicio Geológico Mexicano. (2021). *Anuario estadístico de la minería mexicana*. Obtenido de
Consulta el Anuario Estadístico de la Minería Mexicana:
<https://www.gob.mx/sgm/articulos/consulta-el-anuario-estadistico-de-la-mineria-mexicana>
- Shuqiong , L., Min, L., Lei, Y., Jindan, C., Wenpeng , Y., Xuyan, Y., . . . Yongxuan , S. (2019).
Utilization of waste from alumina industry to produce sustainable cement-based
materials. *Construction and Building Materials*, 9.
- Wikipedia. (2021). *Wikipedia, La enciclopedia libre* . Obtenido de Sulfato de hierro (II):
[https://es.wikipedia.org/wiki/Sulfato_de_hierro_\(II\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Sulfato_de_hierro_(II))