

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**DISEÑO DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UN COAGULANTE  
NATURAL A PARTIR DE LA SÁBILA O ALOE VERA (*Barbadensis miller*) PARA  
SER APLICADO EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS EN LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS TURBIDEZ Y  
DBO<sub>5</sub>**

PRESENTADO POR:

**CALDERÓN MORAN, MARCO ANTONIO**  
**CASTANEDA PÉREZ, JOCELINE MARGARITA**  
**DOMÍNGUEZ PALACIOS, LAVINIA SOLEY**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL:**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

**Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**SECRETARIO:**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**DIRECTORA:**

**INGA. SARA ELISABETH ORELLANA CLARIOS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Título:

**DISEÑO DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UN COAGULANTE  
NATURAL A PARTIR DE LA SÁBILA O ALOE VERA (*Barbadensis miller*) PARA  
SER APLICADO EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS EN LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS TURBIDEZ Y  
DBO<sub>5</sub>**

Presentado por:

**CALDERÓN MORAN, MARCO ANTONIO**  
**CASTANEDA PÉREZ, JOCELINE MARGARITA**  
**DOMÍNGUEZ PALACIOS, LAVINIA SOLEY**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

**SAN SALVADOR, FEBRERO 2023**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a **Dios**, por permitirnos terminar nuestros estudios profesionales y llegar hasta el culmen de la carrera de Ingeniería Química. Por brindarnos la sabiduría necesaria para poder realizar de la mejor manera posible el presente trabajo de investigación, además de todos los desafíos presentados durante todo el tiempo de estudio. Por fortalecernos en cada dificultad presentada y no dejar que nos rindiéramos ante tales situaciones. Gracias primordialmente a él por permitirnos llegar tan lejos y poder cumplir la meta de ser próximos ingenieros químicos.

A nuestras familias y amigos que siempre nos brindaron su apoyo y su cariño en cada una de las dificultades que tuvimos durante toda la carrera, así como también sus palabras de aliento que nos permitían seguir adelante en nuestros estudios.

A nuestros docentes, por haber compartido y transmitido sus conocimientos, en especial a: **Inga. Eugenia Gamero de Ayala** por ser el principal apoyo en la realización de la presente investigación, por orientarnos en cada momento en los cuales requeríamos respuestas y ayuda ante diversas situaciones presentadas, además de ser parte fundamental para el desarrollo profesional de cada uno de nosotros.

**Dra. Tania Torres Rivera**, por brindarnos la oportunidad de realizar nuestra metodología experimental en la Planta Piloto, además de mostrarnos su apoyo y su ayuda siempre que fue requerida.

**Inga. Delmy del Carmen Rico Peña**, por brindarnos su ayuda siempre que fue requerida, además de guiarnos tanto en la elección del tema indicado para la realización de nuestro trabajo de graduación como también en la redacción y estructuración del mismo.

## DEDICATORIA

Ley doy gracias primeramente a **Dios** por nunca abandonarme en todo el camino recorrido durante toda la carrera, por haberme guiado en cada una de las dificultades presentadas y por permitirme sobrellevar cada una de ellas de la mejor manera, por brindarme esfuerzo, sacrificio, sabiduría, amor, amistad y muchas más cosas que me permiten estar orgulloso de todo lo que hasta este momento me ha permitido vivir.

A mi mamá **Emilia** que fue el pilar fundamental para mi interés en la ingeniería química y la que brindo toda su sabiduría y conocimientos posibles para comprender y solucionar los problemas que se presentaban a lo largo de la carrera. A toda mi familia principalmente mi papá **Marco** y mis hermanas **Moni y Gabi** que todos juntos me brindaron todo su apoyo y sus ánimos de poder seguir adelante, así como también palabras para no darme por vencido, por brindarme todo su amor y cariño que permitió sentirme acompañado todo el tiempo, además de permitirme pasar tan buenos momentos en familia que puedo sentirme bendecido de llamarlos familia.

A mis compañeras de tesis **Joceline y Lavinia**, por acompañarme durante bastante tiempo durante la carrera, por esforzarnos y trabajar duro por llegar hasta este punto. Por ayudarnos siempre en lo que se pudiese, además de pasar buenos momentos y nunca desanimarnos a pesar de las dificultades que se presentarían.

A todos mis amigos que tengo desde el colegio y me acompañaron en la universidad, por brindarme su amistad y hacerme pasar tan buenos momentos durante mi carrera, por sacarme siempre alegrías y risas a pesar de los malos momentos que haya tenido. Por ayudarme en lo que podían y por nunca dejarme solo.

A los docentes, por haber compartido todos sus conocimientos y por haberlos transmitido de la mejor manera posible, haciendo que pueda desarrollarme en el ámbito que yo quería desde un principio el entrar en la universidad y llegando a tal punto de poder hacerme llamar Ingeniero Químico.

*-Marco Calderón.*

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de grado principalmente a Dios, por ser la parte fundamental en mi vida, por siempre poner el ánimo, fortaleza, esperanza y deseo de superarme, por proveer los recursos necesarios para culminar mi carrera y darme la gracia para rodearme de los amigos que aportaron mucho durante estos años. Este trabajo es una prueba de su fidelidad y amor para mi vida.

También a mi perrita “Muñeca” que durante 12 años fue mi compañía fiel, cada día y en cada noche de estudio, por ser la mejor perrita del mundo, siempre la recordaré. A Maya por llegar a alegrarme la vida.

A mi familia, mi hermano mayor Joel quien ha sido mi apoyo desde pequeña, sus consejos han sido clave para poder desarrollarme como persona, y siempre estaré agradecida por sus cuidados, a Marcos, mi mamá Margarita y mi abuelita Ernestina. A mis primas, primos y tías.

A mis amigos, Juan, Hazel, Katherine, Javier y Dibel, quienes me brindaron su apoyo y amistad durante la carrera.

A mis compañeros de tesis, quienes se esforzaron hasta el final para culminar este trabajo.

Y finalmente a todos los docentes quienes con dedicación y esfuerzo aportaron compartiendo sus conocimientos para mi desarrollo profesional...

***-Joceline Castaneda.***

## DEDICATORIA

Mi dedicatoria es principalmente para **Dios** por regalarme el don de la vida junto con su inmenso amor, misericordia y fortaleza las cuales me acompañaron desde el primer hasta el último día de mi carrera y que me permitieron salir adelante aun cuando las situaciones eran difíciles, gracias a él por manifestar su fidelidad conmigo brindándome personas increíbles que aportaron mucho para alcanzar mi meta de titularme como Ingeniero Químico.

Agradezco infinitamente a mi madre **Rosa Miriam** que es el pilar fundamental en mi vida, por brindarme su apoyo incondicional, comprensión y realizar muchos sacrificios para sacarme adelante, gracias por el ánimo y orientación que me ha brindado; el cual ha sido fundamental para formar la persona que hoy soy.

De igual forma agradezco a mi novio **Ramón Parada** por su apoyo incondicional en mi vida y en especial en estos años de estudio, por acompañarme, incentivar me y darme ánimos cuando decaía, gracias por siempre enseñarme a creer en mis fortalezas y que siempre hay una solución.

A mi hermano **Noé** el cual es una de mis motivaciones, por comprenderme y apoyarme.

A mis primos, primas, tíos y tías por llevarme siempre en sus oraciones y brindarme consejos para alcanzar mis propósitos.

A la familia **Parada Baires** por ser una mano amiga en este trayecto, mostrando su apoyo y confianza en mí.

A mis amigos por compartir conocimiento y buenos momentos llenos de alegría.

A mis compañeros y amigos de tesis **Joceline** y **Marco** por acompañarme y apoyarnos durante muchos años de la carrera y principalmente por su esfuerzo y dedicación en este trabajo de graduación.

Finalmente, a todos los docentes de la facultad quienes me impartieron cada una de las materias compartiendo sus conocimientos y experiencias con el fin de lograr ser una profesional titulada como ingeniero Químico.

*-Lavinia Domínguez.*

## RESUMEN

La descarga de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias sin tratamiento previo, provoca la contaminación de los cuerpos de agua receptores, disminuyendo la calidad de las aguas superficiales, subterráneas; poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas. Los cuerpos de agua residual contienen partículas coloidales que generan turbidez debido a sedimentos y nutrientes, los cuales no precipitan completamente de manera natural, ayudando a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas; además dichas partículas suspendidas absorben calor de luz solar, lo que provoca que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y reducen así, la concentración de oxígeno presente por lo que algunos organismos no pueden sobrevivir en aguas con temperaturas elevadas. Por otro lado, las partículas en suspensión dispersan la luz, de esta forma decrece la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar aún más la concentración de oxígeno.

Actualmente se utiliza el proceso de coagulación-floculación para la disminución de estos parámetros y los coagulantes comúnmente utilizados son de origen químico, por lo que la presente investigación llevó como objetivo presentar un proceso de obtención de un material coagulante de origen natural a partir de la planta de Aloe Vera (*Barbadensis Miller*) para su uso en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas específicamente para la reducción de parámetros turbidez y DBO<sub>5</sub>. Verificando si el proceso de extracción modificaba las propiedades fisicoquímicas del material coagulante que se utilizó en el agua residual doméstica a diferentes concentraciones por cada método. Seleccionándose así, la mejor metodología donde la turbidez se redujo hasta un 97.69%, en la cual los parámetros de velocidad de agitación rápida 150 rpm durante 2 min y velocidad de agitación lenta 25 rpm por 30 min fueron constantes.

**Palabras clave:** Turbidez, DBO<sub>5</sub>, Aguas residuales domésticas, Coagulantes naturales, Aloe vera.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁG.
<b>OBJETIVOS</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
<b>1.1 Generalidades del aloe vera</b> .....	4
<b>1.1.1 Estructura y composición química</b> .....	6
<b>1.1.2 Composición fisicoquímica del aloe</b> .....	8
<b>1.1.3 Capacidad de ser utilizada como coagulante-floculante</b> .....	9
<b>1.2 Marco legal aplicable</b> .....	10
<b>1.3 Aguas residuales domésticas</b> .....	16
<b>1.3.1 Constituyentes de las aguas residuales domésticas</b> .....	19
<b>1.3.2 Caracterización de las aguas residuales domésticas</b> .....	20
<b>1.3.3 Constituyentes de las aguas residuales que son removidos en el proceso</b> .....	24
<b>1.3.4 Principales procesos físico-químicos en el tratamiento primario</b> .....	25
<b>1.3.5 Coagulación- Floculación</b> .....	27
<b>1.4 Diseño de proceso para la obtención de un coagulante natural de Aloe Vera (Barbadensis Miller)</b> .....	43
<b>1.4.1 Procesos de extracción de aloe vera</b> .....	44
<b>1.4.2 Método A: Extracción del coagulante a nivel de laboratorio a partir del aloe vera (Barbadensis Miller)</b> .....	45
<b>1.4.3 Método B: Extracción del coagulante a nivel de laboratorio a partir del aloe vera (Barbadensis Miller)</b> .....	46
<b>1.5 Manejo y disposición final de residuos sólidos</b> .....	47
<b>1.5.1 Manejo y disposición final de residuos sólidos generados en la elaboración del material coagulante natural</b> .....	49
<b>CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b> .....	51
<b>2.1 Formulación del agua residual doméstica</b> .....	51
<b>2.1.1 Caracterización de la muestra cruda del agua residual (formulada)</b> .....	53
<b>2.2 Recolección de la sábila (Aloe vera)</b> .....	54
<b>2.3 Metodologías seleccionadas para la extracción del material coagulante</b> .....	56
<b>2.3.1 Descripción del método A de extracción del material coagulante</b> .....	57
<b>2.3.2 Descripción del método B de extracción del material coagulante</b> .....	60
<b>2.4 Test de jarras</b> .....	65

2.4.1 Evaluación de parámetro turbidez .....	67
2.4.2 Evaluación de pH.....	69
2.4.3 Evaluación de temperatura .....	71
2.5 Caracterización de la muestra tratada del agua residual doméstica .....	72
2.6 Descripción de los equipos utilizados para la realización del experimento .....	73
<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....</b>	<b>75</b>
3.1 Análisis de los resultados del agua residual doméstica sintética. ....	75
3.2 Balance de masa del proceso de extracción del coagulante natural Aloe vera....	78
3.2.1 Balance de masa método A .....	78
3.2.2 Balance de masa método B .....	80
3.3 Análisis de resultados de parámetros de estudio.....	84
3.3.1 Análisis de resultados de turbidez.....	85
3.3.2 Análisis de resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ). ....	89
3.3.3 Análisis de resultados de pH.....	90
3.3.4 Análisis de resultados de temperatura.....	90
3.4 Selección del método óptimo .....	91
3.5 Análisis de los resultados del agua residual doméstica tratada.....	94
3.6 Diseño de proceso del método óptimo para disminución de los parámetros turbidez y DBO <sub>5</sub> en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas. ...	97
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>102</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1	<i>Componentes químicos de la planta de aloe vera (barbadensis Miller) (Pérez Benites Viviana Janettea, 2019).</i>	8
Tabla 1.2	<i>Descripción de variables de crecimiento del aloe vera.</i>	9
Tabla 1.3	<i>Instituciones competentes en el saneamiento y tratamiento de aguas residuales en El Salvador (Revelo , 2016 ).</i>	11
Tabla 1.4	<i>Leyes, códigos y reglamentos aplicables a las aguas residuales.</i>	13
Tabla 1.5	<i>Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor (RTS13.05.01:18. , 2019).</i>	15
Tabla 1.6	<i>Frecuencia establecida de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor (RTS13.05.01:18, 2019).</i>	16
Tabla 1.7	<i>Principales constituyentes de las aguas residuales domésticas (Gómez Puentes , 2005 ).</i>	20
Tabla 1.8	<i>Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2004).</i>	25
Tabla 1.9	<i>Leyes, códigos y reglamentos aplicables a la gestión de residuos sólidos.</i>	49
Tabla 2.1	<i>Composición del sustrato sintético propuesto (Rodríguez Sanchez y Lozano Rivas, 2012).</i>	51
Tabla 2.2	<i>Composición agua residual doméstica a utilizar en el desarrollo experimental.</i>	52
Tabla 2.3	<i>Parámetros fisicoquímicos iniciales de la muestra enviada al laboratorio externo.</i>	53
Tabla 2.4	<i>Comparación de resultados contra especificación de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009.</i>	54
Tabla 2.5	<i>Comparación de resultados contra especificación del Decreto No.130: Reglamento técnico salvadoreño: Aguas Residuales.</i>	54
Tabla 2.6	<i>Peso total de la planta aloe vera.</i>	57
Tabla 2.7	<i>Cantidades del gel y residuos.</i>	58
Tabla 2.8	<i>Concentraciones de las diferentes soluciones de material coagulante.</i>	59
Tabla 2.9	<i>Peso total de la planta aloe vera.</i>	61
Tabla 2.10	<i>Cantidades obtenidas de gel de aloe vera.</i>	62
Tabla 2.11	<i>Cantidad de polvo y desperdicios.</i>	63
Tabla 2.12	<i>Concentraciones de las diferentes soluciones de material coagulante.</i>	64
Tabla 2.13	<i>Parámetros de operación del equipo de jarras.</i>	65
Tabla 2.14	<i>Primera corrida del test de jarras.</i>	66
Tabla 2.15	<i>Segunda corrida del test de jarras.</i>	66
Tabla 2.16	<i>Resultados de turbidez corrida 1 método A.</i>	68
Tabla 2.17	<i>Resultados de turbidez corrida 2 método A.</i>	68
Tabla 2.18	<i>Resultados de turbidez corrida 1 método B.</i>	69
Tabla 2.19	<i>Resultados de turbidez corrida 2 método B.</i>	69
Tabla 2.20	<i>Resultados de pH corrida 1 método A.</i>	69
Tabla 2.21	<i>Resultados de pH corrida 2 método A.</i>	70
Tabla 2.22	<i>Resultados de pH corrida 1 método B.</i>	70
Tabla 2.23	<i>Resultados de pH corrida 2 método B.</i>	70
Tabla 2.24	<i>Resultados de T corrida 1 método A.</i>	71

Tabla 2.25 <i>Resultados de T corrida 2 método A</i> .....	71
Tabla 2.26 <i>Resultados de T corrida 1 método B</i> .....	71
Tabla 2.27 <i>Resultados de T corrida 2 método B</i> .....	72
Tabla 2.28 <i>Parámetros fisicoquímicos de la muestra enviada al laboratorio externo</i> .....	72
Tabla 2.29 <i>Comparación de resultados contra especificación de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009</i> .....	73
Tabla 2.30 <i>Comparación de resultados contra especificación del Decreto No.130: Reglamento técnico salvadoreño: Aguas Residuales</i> .....	73
Tabla 2.31 <i>Descripción de los equipos utilizados en el desarrollo experimental</i> .....	74
Tabla 3.1 <i>Comparación del agua residual doméstica sintética contra los límites máximos permisibles de acuerdo con el RTS 13.05.01.18</i> .....	75
Tabla 3.2 <i>Comparación del agua residual doméstica contra los límites máximos permisibles de acuerdo con la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009</i> .....	76
Tabla 3.3 <i>Resumen de corrientes del balance de masa para el método A</i> .....	80
Tabla 3.4 <i>Resumen de corrientes del balance de masa para el método B</i> .....	84
Tabla 3.5 <i>Porcentaje de remoción del parámetro turbidez método A</i> .....	85
Tabla 3.6 <i>Porcentaje de remoción del parámetro turbidez método B</i> .....	87
Tabla 3.7 <i>Porcentaje de remoción obtenido de DBO<sub>5</sub> método A</i> .....	89
Tabla 3.8 <i>Resultados de pH método A y B</i> .....	90
Tabla 3.9 <i>Resultados de temperatura método A y B</i> .....	91
Tabla 3.10 <i>Comparación de rendimientos del método A y B</i> .....	92
Tabla 3.11 <i>Comparación de dosis óptima del método A y B</i> .....	93
Tabla 3.12 <i>Comparación de porcentaje de remoción de turbidez máximo del método A y B</i> .....	93
Tabla 3.13 <i>Comparación del agua residual doméstica después del tratamiento con método A contra los límites máximos permisibles de acuerdo con el RTS 13.05.01.18</i> .....	94
Tabla 3.14 <i>Comparación del agua residual doméstica después del tratamiento con método A contra los límites máximos permisibles de acuerdo con la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009</i> .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.1</i>	Estructura y microestructura de la hoja de Aloe vera: exocarpio (a), pulpa o tejido parenquimatoso (b), conductos de aloína (c) y cutícula (d). En la figura se muestran imágenes de microscopía de luz tomadas a una magnificación de 5x de las células del parénquima (e) y de un corte seccional de la hoja de Aloe vera (f) donde se observan con gran detalle células internas del exocarpio (ce), células del parénquima (cp) y conductos de aloína (c). (Dominguez-Fernandez, R. 2011). .....	7
<i>Figura 1.2</i>	Porcentaje de composición de las aguas residuales domésticas (Cifuentes , 2007). .....	19
<i>Figura 1.3</i>	Proceso de coagulación (Andía Cardenas, 2009). .....	29
<i>Figura 1.4</i>	Energía potencial de interacción entre dos coloides (Barrenechea Martel, 2009). .....	30
<i>Figura 1.5</i>	Efecto de puente de las partículas en suspensión (Andía Cardenas, 2009). .....	32
<i>Figura 1.6</i>	Fases de la coagulación (Andía Cardenas, 2009) .....	33
<i>Figura 1.7</i>	Condiciones de mezcla del coagulante con el agua (VÁSCONEZ CRUZ, 2013). .....	38
<i>Figura 1.8</i>	Primer Proceso de extracción y preparación del material coagulante a partir del aloe vera. ....	46
<i>Figura 1.9</i>	Segundo Proceso de extracción y preparación del material coagulante a partir del aloe vera. ....	47
<i>Figura 2.1</i>	Reactivos utilizados para la elaboración de agua residual doméstica. ....	52
<i>Figura 2.2</i>	Agua residual doméstica obtenida. ....	53
<i>Figura 2.3</i>	Evaluación de la planta aloe vera. ....	55
<i>Figura 2.4</i>	Extracción de la planta aloe vera. ....	55
<i>Figura 2.5</i>	Etapas de cortado de las pencas de aloe vera. ....	57
<i>Figura 2.6</i>	Etapas de extracción de acíbar de aloe vera. ....	58
<i>Figura 2.7</i>	Etapas de obtención del gel de aloe vera. ....	59
<i>Figura 2.8</i>	Preparación de las soluciones de coagulante natural. ....	60
<i>Figura 2.9</i>	Pencas en mal estado. ....	60
<i>Figura 2.10</i>	Obtención del gel de aloe vera. ....	61
<i>Figura 2.11</i>	Estufa a 95°C. ....	62
<i>Figura 2.12</i>	Secado en horno casero. ....	62
<i>Figura 2.13</i>	Disminución de volumen del gel. ....	63
<i>Figura 2.14</i>	Secado con luz solar. ....	63
<i>Figura 2.15</i>	Trituración del gel. ....	64
<i>Figura 2.16</i>	Gel pulverizado. ....	64
<i>Figura 2.17</i>	Parámetros de operación del equipo de jarras. ....	65
<i>Figura 2.18</i>	Etapas de agitación rápida y lenta para primera corrida. ....	66
<i>Figura 2.19</i>	Etapas de agitación rápida y lenta para segunda corrida. ....	67
<i>Figura 3.1</i>	Comparación de agua residual doméstica sintética con el reglamento técnico salvadoreño 13.05.01:18 y la Norma ANDA plan hidro 2009. ....	77
<i>Figura 3.2</i>	Gráfico turbidez vrs concentración solución coagulante método A. ....	86

<i>Figura 3.3</i> Gráfico porcentaje de remoción obtenido vrs concentración solución coagulante método A. ....	86
<i>Figura 3.4</i> Gráfico turbidez vrs concentración solución coagulante método B. ....	88
<i>Figura 3.5</i> Gráfico porcentaje de remoción obtenido vrs concentración solución coagulante método B. ....	88
<i>Figura 3.6</i> Gráfico comparativo DBO <sub>5</sub> del agua residual antes y después del tratamiento con el método A. ....	89
<i>Figura 3.7</i> Parámetros para selección del método óptimo. ....	92
<i>Figura 3.8</i> Selección del método óptimo. ....	93
<i>Figura 3.9</i> Comparación de resultados obtenidos del agua residual doméstica tratada con el método A contra la especificación del RTS 13.05.01.18. ....	95
<i>Figura 3.10</i> Comparación de resultados obtenidos del agua residual doméstica tratada con el método A contra la especificación de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009. ....	97
<i>Figura 3.11</i> Diseño de proceso del método óptimo para disminución de parámetros turbidez y DBO <sub>5</sub> en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas. .	98

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Proponer una metodología de extracción del mucílago de sábila o aloe vera para su uso en la preparación de un coagulante natural que sea capaz de reducir los valores de los parámetros de turbidez y demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales domésticas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Seleccionar la metodología con la que se obtengan los mayores rendimientos de extracción de mucílago de la sábila para optimizar el proceso de formulación del material coagulante.
2. Evaluar si el método de extracción de mucílago afecta a las propiedades del material coagulante para su función de reducir los valores de los parámetros turbidez y DBO<sub>5</sub>.
3. Evaluar la capacidad de reducción de turbidez del coagulante natural, mediante el método de pruebas de jarras, utilizando un agua formulada con características similares a las aguas residuales domésticas, en cuanto a su contenido de DBO<sub>5</sub> y Turbidez.
4. Definir la dosis óptima de coagulante natural que permita obtener una mayor reducción de la turbidez y DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales.

## INTRODUCCIÓN

El Aloe Vera es una de las plantas más comunes en la mayoría de países, debido a la cantidad de beneficios que posee que van desde medicinales tales como problemas dérmicos o erupciones causadas por alergias y quemaduras leves, productos hidratantes para el cabello, así también como otras aplicaciones a nivel industrial. La planta del Aloe Vera pertenece a la familia botánica de las liliáceas; crece en climas tropicales, en terrenos arenosos y áridos, se caracteriza por sus hojas verdes, alargadas, duras, y de consistencia carnosa.

Por otro lado, las aguas residuales domésticas conocidas también como aguas servidas, son aquellas que tienen origen en las actividades de la rutina diaria del ser humano, descargadas a través de sistemas de alcantarillado o de vertimientos directos sobre el ambiente. Su composición es muy variada y dentro de los principales constituyentes se encuentran los sólidos suspendidos totales, compuestos orgánicos biodegradables, constituyentes inorgánicos disueltos, metales pesados y nutrientes. Además, manifiesta características fisicoquímicas y biológicas muy alteradas, las cuales en tal estado no son aptas para su posterior reutilización y descarte afectando al medio ambiente, es por ello que se recurre a darle tratamientos primarios en donde la caracterización de las aguas residuales domésticas se basa en determinar el olor, color, temperatura, densidad, turbidez, sólidos totales, nitratos, sulfatos, cromo, hierro, cloruros, calcio, zinc, y el pH.

En la actualidad se utiliza el método convencional de coagulación y floculación como parte de los tratamientos primarios, en el cual el sulfato de aluminio, alumbre, cloruro férrico, sulfato ferroso participan como coagulantes convencionales para la disminución eficaz de la turbidez y DBO<sub>5</sub>, entre otros. Sin embargo, el uso continuo de estos coagulantes ha causado varios problemas que afectan la salud humana y a los ecosistemas en donde se descartan dichas aguas tratadas. Dada la problemática, las investigaciones se han enfocado en el uso de los recursos naturales en el proceso de tratamiento del agua residual doméstica, el cual constituye una forma potencial y prometedora de reducir los altos costos e impactos ambientales.

Existen estudios experimentales en los que se ha utilizado como materia prima fuentes naturales como la borra de café, cáscara de naranja y limón, cáscara de coco, semilla de moringa, para la producción de materiales coagulantes que sustituyan a los convencionales. Por lo que en el presente trabajo se ha optado por la elaboración de un coagulante natural a partir de la planta de Aloe Vera aprovechando así, sus beneficios y teniendo presente su abundancia en el territorio nacional, ya que se tienen las bases teóricas y antecedentes de que el tallo de la planta, se utiliza como agente coagulante para disminuir la turbidez y el DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales domésticas.

## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Generalidades del aloe vera

El género *Aloe*, tiene su centro de origen en Sudáfrica, fue introducida por los españoles a diferentes lugares de América. Su hábitat típico son las zonas áridas y desérticas, exponiéndose al sol o a media sombra.

La planta de *Aloe vera* se conoce y utiliza durante siglos por sus propiedades para la salud ya sea como remedio medicinal o uso cosmético. El nombre *Aloe vera* deriva de la palabra árabe “alloeh” que significa “sustancia amarga brillante”, mientras que “Vera” en latín significa “verdadero.”

Hace 2000 años, los científicos griegos consideran al aloe vera como la penca universal, pero fueron los egipcios la civilización que más utilizó el aloe. De hecho, lo llamaron aloe “planta de la inmortalidad.” Se dice que la reina Cleopatra utilizaba un colirio que dicen proporcionaba un brillo extraordinario a sus ojos, mientras que la tersura y el aspecto de su piel se les atribuía a los baños con jugo de aloe vera. Pero también lo utilizaban en los embalsamientos de faraones.

La planta de aloe es originaria de Sudáfrica, actualmente se cultiva alrededor del mundo, se adapta a climas cálidos y semicálidos. La especie más empleada a través de los años y hoy en día es el *Aloe barbadensis* Miller con nombre común: Aloe vera y existen otras variedades como *Aloe ferox*, *Aloe arborenses*, *Aloe mitriformis* entre otras (Navarro, 2013).

En el siglo XX, a partir de 1930 se comenzaron a realizar estudios que daban rigor científico a las propiedades ya avaladas por los antepasados.

Collins, C.E & Collins, C., (1935) comprobaron la extraordinaria eficacia de esta planta para curar las quemaduras que los rayos X producían a pacientes y médicos. Las investigaciones continuaron con las quemaduras causadas en las poblaciones de Hiroshima y Nagasaki por las explosiones atómicas. Un estudio demostró cómo las personas a las que se les administró aloe se curaron más rápidamente y, en muchos casos, sin dejar señales ni cicatrices.

En la década de los años 1970, el farmacéutico Bill Coats, consiguió separar la Aloína de la corteza y estabilizar el gel tomado de la hoja añadiéndole Vitamina C (Ácido Ascórbico), Vitamina E (Tocoferol) y Sorbitol, lo que masificó el uso del Aloe y creó una industria asociada a esta planta.

Diversos estudios, principalmente en Estados Unidos y la antigua URSS, demostraron las propiedades curativas del Aloe en dolencias tales como úlceras, eczemas, quemaduras y un amplio espectro de enfermedades cutáneas.

Ya en la década de los 80, empiezan a emerger las explotaciones comerciales de Aloe vera en países como Argentina, Paraguay, Brasil y México.

España comienza su cultivo en la década de los noventa, apareciendo pequeñas plantaciones por el sur de la península, principalmente por la zona de Málaga y Cádiz. Período en el que también se incorporan agricultores de las Islas Canarias donde prolifera mucho el cultivo erigiéndose como los mayores productores de Aloe en España y Europa.

Más tarde, a partir del año 2000, es cuando un pequeño número de agricultores de la península, buscando cultivos alternativos a las plantaciones y productos tradicionales, van a conocer las bondades de la planta y comienzan su andadura realizando estudios de viabilidad, rentabilidad y mercado potencial del producto.

La parte que más se usa de esa planta es el gel, debido a sus propiedades funcionales, antioxidantes y terapéuticas. Un adecuado aprovechamiento de la planta, está relacionado al contenido de sus componentes bioactivos, microestructura y los métodos para estabilizar los productos obtenidos a partir del gel. El aloe vera es un cultivo industrial y en la industria alimentaria se ha utilizado para la preparación de bebidas de alimentos saludables, tales como té y leche. Y en lociones, cosméticos, etc. (Asocialoe, 2019).

En la actualidad, los problemas gástricos son cada vez más comunes. Ante esta situación, gran parte de la población recurre a tratamientos alternativos como los provenientes del Aloe Vera, pues constituyen métodos de fácil obtención y de muy bajo costo (Molás, 2018).

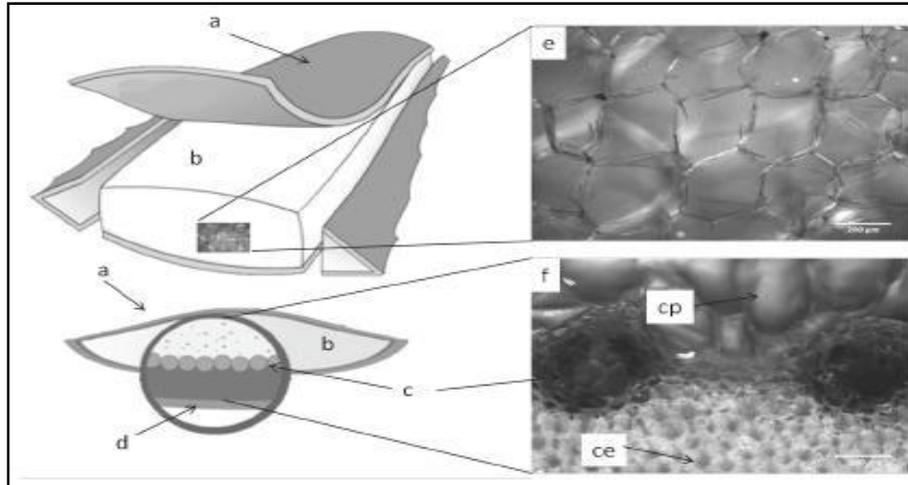
Además de ser una buena fuente de vitaminas como C y E, así como de minerales como el sodio, calcio, magnesio y potasio; existen estudios que demuestran que el Aloe, es un gran auxiliar para diversas afecciones, entre ellas: (Molás, 2018).

1. Apoyo a la salud digestiva
2. Tratamiento de úlceras gástricas por ingestión de alcohol.
3. Tratamiento para la inflamación de la mucosa gástrica.
4. Mejora los síntomas causados por la colitis y síndrome de intestino irritable.
5. Favorece la actividad antioxidante para combatir los radicales libres producidos por el organismo.

### **1.1.1 Estructura y composición química**

La planta de *Aloe vera* se compone de raíz, tallo, hojas y flores en época de floración. Las plantas del género *Aloe* son parecidas a un maguey pequeño, con tronco muy corto o arborescente; son perennes, con rizomas largo y estolonífero; Las hojas crecen alrededor del tallo a nivel del suelo en forma de roseta, desde el centro hacia arriba crece el tallo que al florecer forma densos racimos de flores tubulares amarillas o rojas (Dominguez-Fernandez, 2011). Son gruesas, basilares, caulinares que están acomodadas en forma de rosetas (más o menos 20) y son de color intenso, carnosas, delgadas, largas y sutiles, con bordes espinosos o dentados presentando diferentes tonalidades de verde; a menudo están maculadas, estriadas y difuminadas en blanco amarfilado, su inflorescencia superior, la mitad inferior plana y convexa y en la mitad superior cóncava o acanalada con una longitud de 50 a 60 cm y con una anchura de base de 8 a 10 cm. El raquis de 1 a 1.35 m; desnudo y liso con una o dos ramificaciones laterales, la mitad de su longitud finalizada por racimos-espigas; flores amarillas con listas verdosas; la floración ocurre en diferentes épocas dependiendo de la especie, puede realizarse desde el final del invierno hasta el verano (de agosto a octubre) (Dominguez-Fernandez, 2011).

En la figura 1.1 se observa que la estructura de las hojas está formada por el exocarpio o corteza, la cual está cubierta de una cutícula delgada. La corteza representa aproximadamente del 20 al 30% del peso de toda la planta y dicha estructura es de color verde o verde azulado, dependiendo de diversos factores tales como: el lugar, clima o nutrición de la planta. El parénquima, conocido comúnmente como pulpa o gel se localiza en la parte central de la hoja y representa del 65 al 80 % del peso total de la planta.



**Figura 1.1** Estructura y microestructura de la hoja de Aloe vera: exocarpio (a), pulpa o tejido parenquimatoso (b), conductos de aloína (c) y cutícula (d). En la figura se muestran imágenes de microscopía de luz tomadas a una magnificación de 5x de las células del parénquima (e) y de un corte seccional de la hoja de Aloe vera (f) donde se observan con gran detalle células internas del exocarpio (ce), células del parénquima (cp) y conductos de aloína (c). (Dominguez-Fernandez, R. 2011).

Entre la corteza y la pulpa, ocupando toda la superficie interna de la hoja, se encuentran los conductos de aloína que son una serie de canales longitudinales de pocos milímetros de diámetro por donde circula la savia de la planta, conocida como acíbar. El acíbar se puede obtener dejando fluir el líquido de los conductos de aloína; dicha sustancia tiene usos farmacéuticos como laxante (Ramachandra y Srinivasa, 2008). Esta sustancia presenta un alto contenido de aloína (>28% en base húmeda), la cual es una antraquinona derivada del aloe-emodina y la glucosa (Pérez Benites Viviana Janettea, 2019).

La calidad del gel de sábila, puede ser determinada por el contenido de sólidos precipitables en alcohol existentes en una muestra de gel. El Consejo Internacional de la Ciencia del Aloe (IASC), certifica las pruebas de evaluación permanente para proteger a los consumidores de los productos manufacturados y a los representantes de los productos de Aloe y así evitar fraude. Esta prueba cuantitativa de polisacáridos de Aloe es utilizada por la industria de aloe para evitar los falsos etiquetados. Las pruebas de polisacáridos precipitables en alcohol son simples y baratas para determinar hexosas de Aloe. Para medir los polisacáridos se utilizan dos métodos: una es la separación y otra la detección.

### 1.1.2 Composición fisicoquímica del aloe

La hoja de sábila tiene más de 200 constituyentes diferentes producidos en la corteza exterior, de los cuales 75 tienen actividad biológica. Posteriormente se investigaron otros constituyentes del gel del Aloe, que después de largos y exhaustivos estudios, reportaron las siguientes sustancias: polisacáridos conteniendo glucosa, manosa, galactosa, xilosa, arabinosa, taninos, esteroides, ácidos glucurónicos, cítricos, succínico y málico; enzimas tales como: oxidasa, celulosa, catalasa, amilasa, entre otros. Se reportan también algunos azúcares, principalmente glucosa, proteína, así como estimuladores biogénicos, saponinas, magnesio, lactato y algunas vitaminas. Según reporte de investigadores japoneses, las aloctinas y lactinas están presentes y contienen propiedades anticancerígenas. El mucílago se comporta como un fluido No Newtoniano entrando en la clasificación de los pseudoplásticos debido a que la viscosidad desciende a medida que aumenta la velocidad de corte hasta mantenerse constante. En la Tabla 1.1 se presentan los componentes químicos de la planta Aloe vera (barbadensis miller) (Pérez Benites Viviana Janettea, 2019).

**Tabla 1.1** Componentes químicos de la planta de aloe vera (barbadensis Miller) (Pérez Benites Viviana Janettea, 2019).

Composición	Compuestos
<b>Antraquinonas</b>	Ácido aloético, antranol, ácido cinámico, barbaloina, ácido crisofánico, emodina, aloe emodin, éster de ácido cinámico, aloína, isobarbaloina, antraceno, resistanol.
<b>Vitaminas</b>	Ácido fólico, vitamina B1, colina, vitamina B2, vitamina C, vitamina B3, vitamina E, vitamina B6, beta-caroteno.
<b>Minerales</b>	Calcio, magnesio, potasio, zinc, sodio, cobre, hierro, manganeso, fósforo, cromo.
<b>Carbohidratos</b>	Celulosa, galactosa, glucosa, xilosa, manosa, arabinosa, aldopentosa, glucomanosa, fructuosa, acemanano, sustancias pépticas, L-ramnosa.
<b>Enzimas</b>	Amilasa, ciclooxidasa, carboxipeptidasa, lipasa, bradikinas, catalasa, oxidasa, fosfatasa alcalina, ciclooxigenasa, superóxido dismutasa.
<b>Lípidos y Compuestos Orgánicos</b>	Esteroides (campesterol, colesterol, $\beta$ -sitoesterol), ácido salicílico, sorbato de potasio, triglicéridos, lignina, ácido úrico, saponinas, giberelina, triterpenos.
<b>Aminoácidos</b>	Alanina, ácido aspártico, arginina, ácido glutámico, glicina, histidina, lisina, isoleucina, metionina, prolina, tirosina, treonina, valina.

Diferentes antraquinonas naturales y compuestos similares contenidos en la aloína, han mostrado efectos antivirales para algunas infecciones tales como en el herpes simple tipos 1 y 2, varicela e influenza HIV-1. También se ha encontrado que la aloemodina presenta actividad contra una gran variedad de virus.

Por otra parte, el gel o pulpa es una masa gelatinosa e incolora formada por células parenquimáticas, estructuradas en colénquima y células pétreas delgadas. El gel está constituido principalmente de agua, mucílagos y otros carbohidratos, ácidos y sales orgánicas, enzimas, saponinas, taninos, heteróxidos antracénicos, esteroides, triacilglicéridos, aminoácidos, ARN, trazas de alcaloides, vitaminas y diversos minerales. La aplicación tópica del gel de sábila estimula la actividad de fibroblastos y la proliferación de colágeno, favoreciendo la cicatrización y la angiogénesis. Todas estas sustancias aportan al organismo muchos nutrientes necesarios para su función, y aunque de origen vegetal, son reconocidas por el organismo como propias, siendo perfectamente asimiladas sin producir ningún efecto colateral indeseable (Reynolds & Dweck, 1999). También hay evidencia que sugiere que el gel de la sábila contiene diversas sustancias que aisladas o en conjunto presentan efectos terapéuticos, por lo que una mejor comprensión de estos componentes y de sus efectos es esencial para desarrollar productos a partir de gel de *Aloe vera* con fines terapéuticos (Pérez Benites Viviana Janettea, 2019); tales como se describe en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Descripción de variables de crecimiento del aloe vera.

<b>Variable de crecimiento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Peso de la hoja</b>	El peso de la hoja oscila entre los 400 a 450 g. Esto es importante ya que se deben de tomar en cuenta para la conversión de hoja fresca a gel, dado que se reporta que el índice de conversión debe ser entre 40 a 50% para que sea redituable su industrialización.
<b>Temperatura</b>	Es una de las variables que mayor impacto tiene sobre el crecimiento de las plantas de aloe. Puede sufrir en zonas con climas fríos, por eso se recomienda mantener en invernadero o dentro de casa durante los meses más fríos, debido que las temperaturas heladas podrían producir quemaduras en las pencas de la sábila. Su temperatura óptima de crecimiento está entre los 16 y los 26°C.
<b>Sustrato</b>	La sábila crece muy bien en sustratos ricos en materia orgánica, sueltos, tirando a ácidos y con buen drenaje que eviten los encharcamientos. Si se va a plantar el aloe en una maceta o mesa de cultivo ésta debe tener una profundidad mínima de 40 cm para permitir que las raíces se desarrollen bien.

### 1.1.3 Capacidad de ser utilizada como coagulante-floculante

La floculación macromolecular natural del aloe ha demostrado que el gel de aloe tiene aplicabilidad en un amplio rango de pH, la proporción de eliminación de la turbidez llega hasta el 92% cuando el pH de la muestra de agua es de 3 y 11, y que el efecto de la floculación del aloe en muestras de alta turbidez es mejor que en muestras de menor turbidez. El uso de

aloe vera reduce notablemente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos Disueltos Totales (TDS), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el cloruro en todas las concentraciones de ambos efluentes generados por las industrias principalmente las de colorantes.

En un estudio realizado sobre la coagulación-floculación utilizando gel de aloe vera en muestras de agua de alta y baja turbidez mediante el método de pruebas de jarras, a una velocidad de agitación rápida (300-200 rpm) por 2 minutos y una velocidad lenta (30-40 rpm) por 15 minutos, encontró que la mezcla de alumbre (10 ml/l) y aloe vera (40 ml/l) es muy efectivo en la remoción de sólidos suspendidos, para agua de alta turbidez (75-81%) y en aguas de baja turbidez (60-65%), siendo una alternativa para tratar aguas turbias. En un estudio realizado en Benín sobre coagulación-floculación a prueba de jarras utilizando gel de aloe vera en aguas superficiales del lago Nokoue, demostraron que este gel puede remover 72% de turbidez y 91% de materia suspendida.

## **1.2 Marco legal aplicable**

La gestión ambiental de los vertidos líquidos en un territorio está estrechamente vinculada al desarrollo sostenible del mismo, esto debido a que el crecimiento tanto económico como social dependen del estado en el que se encuentren los recursos naturales, en especial el recurso hídrico.

La gestión de las aguas residuales, como parte importante del desarrollo sostenible, debe tomar en cuenta situaciones a futuro, como el crecimiento poblacional, los desarrollos urbanísticos y el cambio climático; y además debe buscar alternativas creativas tanto para disminuir la generación de aguas residuales y sus niveles de contaminación en los puntos de generación, así como encontrar alternativas tecnológicas sostenibles para el tratamiento de estas (Rosales Ayala y Campos Rodríguez , 2019 ).

El marco legal vigente presente en El Salvador, en materia de agua potable y saneamiento, no garantiza la gestión integral de las aguas residuales domésticas, debido o a que presenta dos problemáticas principales: en primer lugar, no responde a las necesidades actuales y la urgencia del país para atender el problema de contaminación; y en segundo lugar hacen falta mecanismos y herramientas para hacer efectivas las leyes existentes y garantizar su cumplimiento.

Históricamente, la legislación en El Salvador ha estado enfocada principalmente en el aprovechamiento económico de los recursos sin tomar en cuenta las afectaciones que puedan ocasionar sobre los ecosistemas, y sin prever los riesgos asociados a la sobreexplotación de los mismos. Sin embargo, en el año 2012 el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales desarrolló una Política Nacional del Medio Ambiente, que tiene como principal objetivo revertir la degradación ambiental y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático, como instrumento operativo se presentó la Estrategia Nacional del Medio Ambiente, la cual está integrada por cuatro componentes (MARN, 2016 ):

- a. Estrategia Nacional de la Biodiversidad
- b. Estrategia Nacional del Cambio Climático
- c. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y,
- d. Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental

En la Tabla 1.3. se muestran las diferentes entidades que participan en la gestión legislativa del saneamiento y depuración de las aguas residuales, con sus respectivas competencias y procedimientos (Revelo , 2016 ).

**Tabla 1.3** *Instituciones competentes en el saneamiento y tratamiento de aguas residuales en El Salvador (Revelo , 2016 ).*

<b>INSTITUCIÓN</b>	<b>COMPETENCIA</b>
<b>Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)</b> Base legal art. 19-29, 46 y 49 Ley de Medio Ambiente	1. Velar y hacer cumplir los instrumentos legales, con el propósito de proteger, conservar y recuperar el ambiente 2. Controlar y prevenir la contaminación 3. Coordinar con otras instituciones competentes 4. Otorgar permisos ambientales de sistemas de tratamiento de aguas residuales y reúso 5. Recibir informes operacionales de los sistemas de tratamiento
<b>Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MINSAL)</b> Art. 56 y 59 del Código de Salud	1. Aprobar factibilidades de los sistemas de aguas negras y grises individuales 2. Vigilancia sanitaria y control de cumplimiento de la normativa y guía técnica 3. Educador y promotor de saneamiento 4. Dependencia responsable: Unidad de Salud Ambiental a través de los Programas Institucionales: a) Disposición Sanitaria y, b) Tratamiento de aguas negras y grises.

(Continúa...)

**Tabla 1.3** *Instituciones competentes en el saneamiento y tratamiento de aguas residuales en El Salvador (Continuación) (Revelo , 2016 ).*

<b>INSTITUCIÓN</b>	<b>COMPETENCIA</b>
<b>Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)</b> Ley de ANDA y art. 17 del Decreto No. 50	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proveer servicio de alcantarillado</li> <li>2. Administrar plantas de tratamiento y la disposición adecuada de aguas residuales de su alcantarillado</li> <li>3. Control de vertidos descargados</li> </ol>
<b>Fondos de Inversión Social y Desarrollo Local (FISDL)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es la institución responsable de ejecutar las inversiones públicas en la zona rural, en las que se incluye agua y saneamiento</li> </ol>
<b>Municipalidades</b> Art. 4 y 7 Código Municipal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Autoridad local facultad para promover y desarrollar los programas de saneamiento ambiental</li> <li>2. Prestadora de servicios públicos</li> <li>3. Emitir ordenanzas municipales</li> </ol>
<b>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formular y facilitar la elaboración de las normas técnicas sobre aguas residuales descargadas en un cuerpo receptor</li> </ol>

A fin de gestionar debidamente el recurso, las entidades han elaborado diversos instrumentos legales enfocados en la regulación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y lodos vertidos al medio ambiente, entre los que se mencionan (Revelo , 2016 ) los siguientes y adicionalmente detallados en la tabla 1.4:

- i. Código de salud, 1988
- ii. Decreto No.50: Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección, 1989
- iii. Ley De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Área Metropolitana De San Salvador Y De Los Municipios Aledaños, 1993
- iv. Ley de Medio Ambiente, 1998
- v. Decreto No. 39: Reglamento Especial de aguas residuales, 2000 (Derogado)
- vi. Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente, 2000
- vii. Guía Técnica Sanitaria Para La Instalación Y Funcionamiento De Sistemas De Tratamiento Individuales De Aguas Negras Y Grises, 2009
- viii. Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, 2009
- ix. Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, 2018
- x. Decreto No. 29: Reglamento Especial de aguas residuales y manejo de lodos residuales, 2019
- xi. Decreto No.130: Reglamento técnico salvadoreño: Aguas Residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales, 2019
- xii. Ley General de Recursos Hídricos, 2021

- xiii. Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan la alternativa de reúso de agua residual tratada, 2021.

**Tabla 1.4** *Leyes, códigos y reglamentos aplicables a las aguas residuales.*

<b>LEGISLACIÓN Y ARTÍCULO APLICABLE</b>	<b>ANÁLISIS</b>
<b>Ley de Riego y Avenamiento. Art. 100 y 101</b>	Tiene como fin incrementar la producción y la productividad agropecuaria mediante la utilización racional de los recursos suelo y agua, así como la extensión de los beneficios derivados de tal incremento, al mayor número posible de habitantes del país (Decreto-No.153, 1990).
<b>Ley General de Recursos Hídricos. Art. 97,98,99, 115, 116 y 117</b>	Tiene como objeto regular la gestión integral de las aguas, su sostenibilidad, garantizar el derecho humano al agua, la seguridad hídrica para una mejor calidad de vida de todos los habitantes del país y promover el desarrollo económico y social mediante la utilización sostenible de los recursos hídricos (Asamblea, 2021).
<b>Decreto No.50: Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección (Todo el documento)</b>	Tiene como objeto desarrollar los principales contenidos en la Ley Sobre Gestión Integral de los Recursos Hídricos y su Reglamento, así como los Artículos 100 y 101 de la Ley de Riego y Avenamiento, referente a la calidad de agua, el control de vertidos en las zonas de protección con el objeto de evitar, controlar o reducir la contaminación del recurso hídrico (Decreto-No.50., 1989 ).
<b>Ley De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Área Metropolitana De San Salvador Y De Los Municipios Aledaños Art. 43</b>	La presente Ley tiene por objeto regular el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano y rural del Área Metropolitana de San Salvador y Municipios Aledaños, mediante el mejor aprovechamiento de los recursos de las distintas zonas y la plena utilización de los instrumentos de planeación (Asamblea, 1993).
<b>Código de salud Art. 56, 67, 68, 69, 70, 73 y 284</b>	Tiene por objeto desarrollar los principios constitucionales relacionados con la salud pública y asistencia social de los habitantes de la República y las normas para la organización funcionamiento y facultades del Consejo Superior de Salud Pública, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y demás organismos del Estado, servicios de salud privados y las relaciones de éstos entre sí en el ejercicio de las profesiones relativas a la salud del pueblo (Código de Salud , 1988).
<b>Ley de Medio Ambiente Art 46, 49, 51, 85 y 86</b>	Tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, que se refiere a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones (Ley de Medio Ambiente , 1998 ).
<b>Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente Art 75, 100, 101, 104</b>	Tiene por objeto desarrollar las normas y preceptos contenidos en la Ley del Medio Ambiente, a la cual se adhiere como su instrumento ejecutorio principal (Decreto-No.17, 2000 ).
<b>Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños Art. V.65 y Art. VI.29</b>	Tiene por objeto establecer las disposiciones que regularán el funcionamiento de las Instituciones creadas por la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador; establecer los procedimientos para la formulación de los diferentes Instrumentos de Planificación del Desarrollo Urbano del AMSS, estableciendo los mecanismos para su aprobación, aplicación y/o ejecución (COAMSS, 2009).

(Continúa...)

**Tabla 1.4** *Leyes, códigos y reglamentos aplicables a las aguas residuales (Continuación).*

<b>LEGISLACIÓN Y ARTÍCULO APLICABLE</b>	<b>ANÁLISIS</b>
<b>Guía Técnica Sanitaria Para La Instalación Y Funcionamiento De Sistemas De Tratamiento Individuales De Aguas Negras Y Grises (Todo el documento)</b>	Pone a disposición del personal técnico de los diferentes niveles de la estructura organizativa del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, así como de otros actores involucrados en el tema, un documento técnico de referencia y consulta que defina los criterios técnicos sanitarios para la instalación y funcionamiento de los sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises (MINSAL , 2009 ).
<b>Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental Art. 19,20, 21,</b>	El presente Reglamento tiene por objeto determinar los lineamientos o directrices para el establecimiento de las normas técnicas de calidad ambiental en los medios receptores, y los mecanismos de aplicación de dichas normas, relativo a la protección de la atmósfera, el agua, el suelo y la bio-diversidad (Decreto-No.40, 2018 ).
<b>Reglamento Especial De Aguas Residuales Y Manejo De Lodos Residuales (Todo el documento)</b>	El presente Reglamento tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Ley del Medio Ambiente, vinculadas a la gestión de las aguas residuales y lodos, y establecer los criterios técnicos y requisitos que deben cumplirse para su manejo, tratamiento, uso, reúso y disposición final (Decreto-No.29, 2019).
<b>Reglamento Técnico Salvadoreño, Agua. Aguas Residuales. Parámetros de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales (13.05.01:18) (Todo el documento)</b>	Su objetivo es establecer los límites permisibles para los parámetros de calidad de las aguas residuales y sus lodos, previo a su disposición final, así como los mecanismos y procedimientos técnicos para la gestión de los mismos; y contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico (RTS13.05.01:18. , 2019).
<b>Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan la alternativa de reúso de agua residual tratada (Todo el documento)</b>	Tiene como objeto establecer los lineamientos técnicos de parámetros de calidad de aguas residuales tratadas en sistemas de tratamiento de aguas residuales de actividades, obras o proyectos, según los tipos de reúso establecidos en el artículo 14 del Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales y basados en normativas internacionales, de acuerdo con lo establecido en el numeral 5.7.1 del RTS 13.05.01:18: Reglamento Técnico Salvadoreño: Aguas Residuales. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales (MARN , 2021 ).

**DECRETO No. 130: REGLAMENTO TÉCNICO SALVADOREÑO: AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES (RTS 13.05.01:18)**

El objeto del reglamento es establecer los límites permisibles para los diferentes parámetros de calidad de las aguas residuales y sus lodos, previo a su disposición final, así como los mecanismos y procedimientos técnicos para la óptima gestión de los mismos; y contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico. El ámbito de aplicación es a toda actividad, obra o proyecto que realice gestión de las aguas residuales previo a la descarga a un medio receptor; así como el manejo de lodos residuales,

independientemente de la procedencia y destino ubicados en el territorio nacional (RTS13.05.01:18. , 2019).

Las aguas residuales de tipo ordinario, previo a ser vertidas al medio receptor, deben de cumplir con las disposiciones de la Ley de Medio Ambiente y sus Reglamentos, además, deben cumplir los límites permisibles establecidos en este reglamento, los cuales se detallan en la Tabla 1.5:

**Tabla 1.5 Límites permisibles de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor (RTS13.05.01:18. , 2019).**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Permissible</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	60
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	60
Sólidos Sedimentables (SS)	mg/l	1
Aceites y Grasas	mg/l	20
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades de pH	6.0-9.0
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Reportar
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> /día	Reportar
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/l	Reportar

El dueño o administrador del alcantarillado sanitario será el responsable de cumplir con los parámetros y límites establecidos por este reglamento, previo a ser descargados al medio receptor. El titular del alcantarillado es responsable de garantizar el cumplimiento de dicha normativa vigente (RTS13.05.01:18. , 2019).

El titular de una actividad, obra o proyecto que descargue sus aguas residuales de tipo especial al sistema de alcantarillado sanitario debe cumplir con lo establecido en la normativa del sistema de alcantarillado en su versión vigente de agua residual de tipo especial para descarga al alcantarillado sanitario (RTS13.05.01:18. , 2019).

El reúso de aguas residuales tratadas, que se detallan en este numeral serán analizados técnicamente y aprobados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), los cuales deben cumplir con la calidad establecida en los lineamientos emitidos por el MARN, de acuerdo a la clasificación de reúso de agua establecida en el Reglamento Especial de Aguas Residuales en su versión vigente; únicamente serán consideradas las aguas residuales tratadas de tipo ordinario y las de tipo especial, que no contenga metales pesados (RTS13.05.01:18. , 2019).

La frecuencia mínima de muestreo y los análisis de aguas residuales de tipo ordinario que descarguen a un medio receptor, deben cumplir con la frecuencia establecida en la tabla 1.6 adaptada del (RTS13.05.01:18, 2019). Para DQO, DBO<sub>5</sub> y Sólidos Suspendidos Totales (SST) deben tomarse tanto en la entrada como en la salida, para los demás parámetros solamente a la salida. Pudiendo ser efectuados por el titular encargado de las aguas residuales, los análisis de los parámetros Potencial de Hidrógeno (pH), Sólidos Sedimentables (SS) y caudal (Q).

**Tabla 1.6** Frecuencia establecida de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario para vertido a un medio receptor (RTS13.05.01:18, 2019).

Parámetros	Caudal del Efluente (m <sup>3</sup> /día)	
	≤ 50	> 50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Semestral	Trimestral
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Semestral	Trimestral
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Semestral	Trimestral
Sólidos Sedimentables (SS)	Trimestral	Semanal
Aceites y Grasas	Semestral	Trimestral
Potencial de Hidrógeno (pH)	Trimestral	Semanal
Coliformes Fecales	Semestral	Trimestral
Caudal (Q)	Diario	Diario
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	Semestral	Trimestral

### 1.3 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales de uso doméstico son aquellas que provienen de las actividades del hombre en su rutina diaria, las cuales son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente (Castañeda y Flores , 2014).

Las aguas residuales domésticas forman parte de las denominadas aguas residuales de tipo ordinario, las cuales son aquellas generadas por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

Cuando se refiere a aguas residuales de uso doméstico, se habla de composiciones muy variadas generadas principalmente por las descargas de distintos lugares (Kadlec & Knight , 1996 ).

Las aguas residuales generadas en los hogares son de las que presentan mayor cantidad de contaminantes y realizar un efectivo tratamiento previo a su descarga en los afluentes naturales se ha vuelto uno de los puntos más importantes actualmente en la prevención del

deterioro ambiental provocado por el ser humano, debido a que este tipo de aguas pueden presentar la presencia de contaminantes tales como presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas.

Debido a la gran cantidad de usos que se puede hacer del agua en los hogares, el nivel de contaminación de esta suele requerir de procesos extensos para deshacerse de residuos tales como heces, grasas o minerales nocivos. La importancia de su tratamiento radica en la posibilidad de devolver el líquido a afluentes naturales sin que represente un peligro para los seres vivos que tengan contacto con él.

Aunque cabe resaltar que algunas aguas residuales domésticas pueden contener baja contaminación y con algún tratamiento previo pueden ser reutilizadas, según (Rodríguez y Medina , 2013 ) el reutilizarlas contribuye a minimizar el uso de agua potable, produciendo así un ahorro entre el 30%-45% de dicha agua, así como también contribuyendo en la protección de las reservas de agua subterránea y reduciendo la carga de las aguas residuales. Teniendo en cuenta la composición de las aguas residuales en estudio, estas se pueden reutilizar para usarlas en inodoros reduciendo así un 30% del consumo del agua en el hogar (Eriksson , Auffarth , Henze , & Ledin , 2002). También en otras actividades como lo son el riego de césped en las universidades, campos deportivos, cementerios, parques, etc. Igualmente, en agricultura, lavado de vehículos y ventanas, protección contra incendios, agua de alimentación de calderas y producción de concreto (Okun , 1997 ).

Debido a lo expuesto anteriormente, el tratamiento de las aguas residuales está compuesto por diversas etapas las cuales componen un denominado “tren de tratamiento” debido a que dichas etapas se dan una detrás de otra, hasta llegar al objetivo principal de convertir las aguas residuales a un producto apto para su descarga en afluentes naturales. Este está compuesto por diversos tipos de tratamiento entre los cuales se puede mencionar: Pretratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y Tratamiento Terciario o Avanzado.

El objetivo de llevar a cabo un tratamiento de aguas residuales es producir agua limpia o reutilizable, dicho tratamiento consiste en una serie de procesos biológicos, físicos y químicos que buscan eliminar los contaminantes del agua. Para seleccionar o identificar qué tipos de tratamientos se pueden usar, se requiere conocer las características del tipo de agua

a tratar, los parámetros de calidad requeridos, los posibles tratamientos, las tecnologías y técnicas.

El tratamiento primario tiene como objetivo principal la remoción tanto de sólidos gruesos como de sólidos en suspensión sedimentables, grasas, aceites y gran parte de la materia orgánica. También tiene la capacidad de eliminar parte de nitrógeno orgánico y fósforo, así como también eliminar metales pesados asociados con los sólidos, sin embargo, algunas partículas coloidales y disueltas permanecen en el agua (Morel & Diener , 2006).

El tratamiento primario tiene como objetivo eliminar una fracción de sólidos de menor tamaño que los que se retienen en el tratamiento preliminar. Esta eliminación usualmente se lleva a cabo mediante la implementación de medios físicos como la sedimentación primaria (Canjura Astorga y Lemus , 2003 ).

Este tratamiento primario es de carácter físico-químico, con éste se busca reducir la materia suspendida, ya sea por medio de precipitación, sedimentación, o algunos tipos de oxidación química. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO<sub>5</sub>.

Los tratamientos físicos se basan en la separación de determinados contaminantes, como sólidos en suspensión, aceites y grasas en estado libre o sólidos disueltos, por principios netamente físicos, como la diferencia de densidad entre la partícula y el agua, presión osmótica, transferencia de calor, transporte eléctrico, etc.

Por otra parte, en los tratamientos químicos la eliminación de contaminantes se lleva a cabo mediante una reacción de tipo químico, ya sea de coagulación, neutralización, precipitación o redox.

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de principios físicos se conocen con el nombre de operaciones unitarias y los métodos de tratamiento en los que la eliminación de contaminantes se efectúa por actividad química o biológica se conocen con el nombre de procesos unitarios. Los procesos y operaciones unitarias se agrupan para proporcionar lo que se conoce como tratamiento primario y secundario.

Debido a las numerosas ventajas, tanto técnicas como económicas, por parte de los procesos físico-químicos, el tratamiento primario se ha convertido en el tratamiento universal por excelencia, tanto para tratamiento de aguas residuales como para agua potable. Sin embargo, su aplicación a aguas residuales domésticas se ha consolidado en las últimas décadas, basado

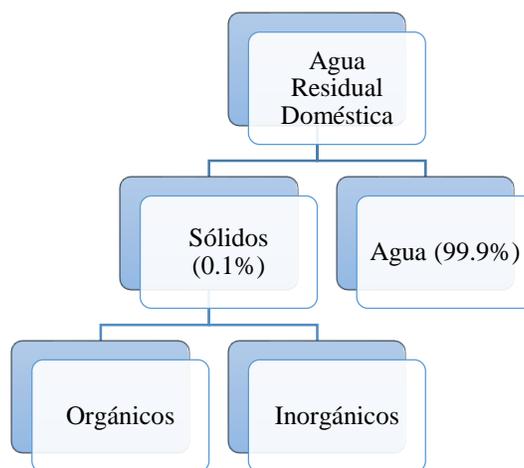
principalmente en los desarrollos tecnológicos en las etapas de coagulación, floculación y separación sólido-líquido de las aguas residuales (Gómez Puentes , 2005 ).

### 1.3.1 Constituyentes de las aguas residuales domésticas

Estas aguas residuales presentan composiciones muy variadas y son generadas principalmente por las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Kadlec & Knight, 1996).

De manera general, las sustancias químicas presentes en las aguas domésticas son: Aluminio, Arsénico, Plomo, Bario, Hierro, Calcio, Fósforo, Cadmio, Sulfatos, Cromo, Cloruros, Plata, Molibdeno, Nitrógeno, Cobre, pH, Níquel, Manganeseo, Sodio, Grasas y aceites, Alcalinidad, Potasio, Magnesio, Surfactantes (Sustancias activas al azul de Metileno) y Zinc.

En la figura 1.2 se muestran que las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. Esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en el tratamiento y su disposición. El agua es apenas el medio de transporte de los sólidos.



**Figura 1.2** Porcentaje de composición de las aguas residuales domésticas (Cifuentes , 2007).

Las aguas residuales domésticas contienen material suspendido y disuelto, éstos son orgánicos e inorgánicos, que de acuerdo con el tipo de constituyente se suele clasificar en: convencionales (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos), no convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles,

surfactantes, metales, sólidos disueltos) y emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.) (Metcalf y Eddy, 2003).

La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente de arena y sustancias minerales disueltas, además contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos, entre los cuales el más importante es el oxígeno proveniente del aire. Además del oxígeno, el agua residual puede contener otros gases, como dióxido de carbono, resultante de la descomposición de la materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera, sulfuro de hidrógeno formado por la descomposición de compuestos orgánicos, gas amoníaco y ciertas formas inorgánicas del azufre.

Algunos de los constituyentes se clasifican según la tabla 1.7.

**Tabla 1.7** Principales constituyentes de las aguas residuales domésticas (Gómez Puentes , 2005 ).

<b>Constituyentes Químicos</b>	<b>Orgánicos</b>	Grasas y Aceites Proteínas Contaminantes prioritarios Tensoactivos Compuestos orgánicos volátiles
	<b>Inorgánicos</b>	Alcalinidad Cloruros Nitrógeno pH Fosforo Contaminantes prioritarios Azufre
	<b>Gases</b>	Sulfuro de hidrógeno Metano Oxígeno

### 1.3.2 Caracterización de las aguas residuales domésticas

Las características de las aguas residuales domésticas dependen de diversos factores; en primer lugar de la calidad del agua suministrada, en segundo lugar al tipo de red de distribución del agua potable y en tercer lugar se tienen a las actividades que se realizan en los hogares, relacionadas principalmente con los estilos de vida, costumbres, instalaciones, uso de productos químicos domésticos, y todo varía en términos de tiempo y lugar, debido a las fluctuaciones que existen en el consumo de agua (Rodríguez y Medina , 2013 ).

Los efluentes de aguas grises tienen como característica el no presentar malos olores de manera inmediata posterior a ser generadas; sin embargo, al acumularse y estancarse se da

una descomposición rápida de la materia orgánica que contienen generando gases con mal olor, además la abundante presencia de microorganismos y patógenos presentes, en su mayoría relacionados a enfermedades del aparato intestinal las convierten en un foco de enfermedades y riesgo a la salud pública. Además, algunos residuos con alto contenido de fósforo y nitrógeno contribuyen en la eutrofización de los cuerpos acuáticos y a la proliferación de plantas en los mismos afectando la vida acuática presente (Metcalf y Eddy , 1995).

Resulta de suma importancia la caracterización de las aguas residuales en la entrada de procesos y operaciones de tratamiento a manera de impulsar y maximizar su limpieza y con ello poder ampliar opciones para su aprovechamiento, dando así una solución al desabastecimiento en los centros urbanos (Morel & Diener , 2006).

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental, no solo para el establecimiento de su estudio, sino también de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, pre selección de los métodos de tratamiento más adecuados, así como para la gestión de la calidad medioambiental (Metcalf y Eddy , 1995).

La caracterización de las aguas residuales consiste en determinar las proporciones y valores de los parámetros analizados, ya que la composición de estas varía en función de las actividades que lleva a cabo el establecimiento bajo estudio. Es importante tener en cuenta que existe una gran diversidad de aguas residuales, las cuales van desde las aguas residuales domésticas hasta aguas residuales de todo tipo de industria (Orellana , 2005 ).

En el caso particular de las aguas grises, existen numerosos parámetros que se evalúan en el proceso de caracterización, los cuales se presentan a continuación:

- 1) Características físicas:** La principal característica física de estas aguas es su color, el cual es gris por lo general. Otros parámetros físicos de importancia son la temperatura, la turbidez y el contenido de sólidos en suspensión.
- a) Olor:** Este punto de caracterización se debe principalmente a la presencia de gases liberados durante la descomposición de la materia orgánica, donde el agua residual posee un olor peculiar debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que es el resultado del proceso de la reducción de los sulfatos a sulfitos producido por la acción de los microorganismos.

- b) Color:** El color en las aguas residuales domésticas está dado principalmente por la presencia de sólidos suspendidos, y estos producen el fenotipo denominado color aparente. Las aguas domésticas son de tonalidad beige clara, tornándose más oscuras debido a la descomposición anaerobia de los compuestos orgánicos presentes (Sastre, 2005).

El agua residual doméstica suele tener un color grisáceo, pero esta al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y desarrollarse condiciones anaerobias, el color del agua cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir el color negro (Metcalf y Eddy, 1995).

- c) Temperatura:** Este parámetro limita la capacidad de remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales, esto debido a su influencia directa en las reacciones químicas y en la velocidad de reacción. Se puede decir que la temperatura del agua residual es más elevada que la del agua de red, esto se debe a la incorporación de agua caliente procedente de casas e industrias y afecta en el desarrollo de la vida acuática, debido a que el oxígeno es menos soluble en agua caliente (Ruiz et al., 2016) además, las altas temperaturas pueden ser desfavorables, ya que favorecen el crecimiento microbiano y podrían en aguas sobresaturadas, inducir la precipitación (por ejemplo, calcita) (Eriksson et al, 2002).
- d) Turbidez:** Es un parámetro que indica la calidad de las aguas que se vierten debido a la relación del material coloidal y residual en suspensión. Estas partículas y coloides causan turbidez en el agua e incluso pueden resultar en la obstrucción física de las tuberías (Morel & Diener, 2006).
- e) Espuma:** En el caso de las aguas residuales domésticas, la espuma se debe principalmente a la presencia de proteínas y detergentes. La temperatura es un factor directo que afecta el tiempo de persistencia de la espuma, ya que mientras menor sea esta, la espuma tenderá a persistir más tiempo en el agua. Las espumas están asociadas a la presencia de tensoactivos, además que emulsionan y solubilizan grasas y aceites, incrementando la contaminación por materia orgánica disuelta (Sastre, 2005).
- f) Contenido de sólidos:** Hay diversos tipos de estos sólidos, los sólidos en suspensión son los retenidos en un filtro con un tamaño de poro específico y estos corresponden a arcillas coloidales o partículas orgánicas, mientras que los sólidos sedimentables son la fracción

de sólidos en suspensión que se depositan en el fondo de un recipiente, al dejarlos en reposo durante un período determinado.

Las partículas de comida y animales crudos en la cocina, y las partículas del suelo, pelo y fibras de las aguas de lavandería son ejemplos de material sólido presente en las aguas residuales domésticas.

Las mayores concentraciones de sólidos en suspensión se encuentran en las aguas grises de la cocina y el lavadero. Igualmente, las concentraciones de sólidos suspendidos dependen fuertemente de la cantidad de agua utilizada (Morel & Diener, 2006).

La presencia de sólidos en suspensión incrementa la turbidez y color aparente del agua, y la de los sólidos disueltos, la salinidad del medio y, en consecuencia, la conductividad del mismo (Sastre, 2005).

## **2) Características químicas:**

Los componentes químicos que se encuentran en las aguas residuales domésticas están directamente relacionados con las actividades realizadas en los hogares. Los elementos que predominan son productos químicos de origen sintético, compuestos de nitratos, fosfatos y agentes tensoactivos que se utilizan principalmente en la limpieza doméstica y que posterior a su uso son vertidos directamente en los alcantarillados (Rodríguez y Medina, 2013).

Como parte de las características químicas de las aguas residuales domésticas también se encuentran la DBO<sub>5</sub>, la DQO, el pH y la Materia orgánica.

- a) **Materia orgánica:** Esta materia se caracteriza por su composición alta en carbono y se puede clasificar como materia biodegradable o no biodegradable dependiendo de su capacidad de ser degradada por los microorganismos. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, que pueden estar conformados principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno, y en caso determinados presencia de nitrógeno. Existe también la presencia de azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, y grasas y aceites (Metcalf y Eddy, 1995).
- b) **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Bajo condiciones de temperatura de 20 °C y un tiempo de estudio de 5 días, este parámetro permite determinar la materia orgánica

biodegradable indicando la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia.

Representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. En las aguas grises, el valor de la DBO a 5 días representa en promedio un 65 a 70 del total de la materia oxidable (Muñoz Cruz, 2008).

- c) **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Este parámetro se define como la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación de materia orgánica e inorgánica a través de un agente químico oxidante externo en medio ácido, que normalmente es el dicromato potásico ya que proporciona grandes resultados en el ensayo de este parámetro.

El ensayo tiene la ventaja de ser más rápido que el de  $DBO_5$  y no está sujeto a tantas variables como las que pueden presentarse en el ensayo biológico (Muñoz Cruz, 2008).

- d) **pH:** Es el grado de alcalinidad o acidez que posee el agua, depende a la proporción de contracción de iones de hidrógenos los valores de pH oscilan en una escala entre 0 y 14 siendo el  $pH = 7$  el neutro.

Esta característica es importante porque permite saber el grado de acidificación que tienen estas aguas residuales (Amaya et al., 2004), para determinar su calidad y así conocer qué tratamiento inicial es necesario utilizar debido a que el rango de pH donde los microorganismos pueden sobrevivir es limitado.

- 3) **Características microbiológicas:** Estas características están relacionadas principalmente con la presencia de Coliformes Fecales, Escherichia Coli, patógenos de la salud humana como bacterias, virus, formas parasitarias, etc. Todo lo anterior se debe principalmente a los desechos humanos y animales ya que todos los patógenos se encuentran en heces, orina y sangre, originando una gran cantidad de enfermedades.

### 1.3.3 Constituyentes de las aguas residuales que son removidos en el proceso

La Tabla 1.8, resume la reducción que se puede conseguir de determinados parámetros o sustancias presentes en el recurso a tratar mediante el proceso de coagulación-floculación:

**Tabla 1.8 Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2004).**

<b>EFFECTOS DE LA COAGULACIÓN SOBRE LAS SUSTANCIAS CONTENIDAS EN EL AGUA</b>	
<b>Parámetros presentes en el agua</b>	<b>Reducción máxima que se obtiene mediante la coagulación</b>
Turbidez	>60% de reducción
Materias en suspensión	>60% de reducción
Fosfatos	>60% de reducción
Nitratos	No hay reducción
Amonio	No hay reducción
Cloruros	0 a 20% de reducción
Sulfatos	0 a 20% de reducción
Fluoruros	20 a 60% de reducción
Hierro	>60% de reducción
Aluminio	>60% de reducción
Manganeso	0 a 20% de reducción
Cobre	>60% de reducción
Zinc	20 a 60% de reducción
Cobalto	No hay reducción
Níquel	No hay reducción
Arsénico	>60% de reducción
Cadmio	20 a 60% de reducción
Cromo	20 a 60% de reducción
Plomo	>60% de reducción
Mercurio	20 a 60% de reducción
Cianuros	No hay reducción
<b>Compuestos Orgánicos</b>	
Color	>60% de reducción
Olor	0 a 20% de reducción
DQO	>60% de reducción
Carbono total	>60% de reducción
DBO <sub>5</sub>	>60% de reducción
Nitrógeno	>60% de reducción
Fenoles	No hay reducción
Hidrocarburos aromáticos	20 a 60% de reducción
Pesticidas	>60% de reducción
<b>Microorganismos</b>	
Virus	>60% de reducción
Bacterias	>60% de reducción
Algas	20 a 60% de reducción

### **1.3.4 Principales procesos físico-químicos en el tratamiento primario**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación.

El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO<sub>5</sub> alta (Metcalf y Eddy, 1995). Según (Delgadillo y Condori, 2010) el tratamiento primario permite eliminar el 90% de los sólidos sedimentables, el 65% de los sólidos en suspensión y disminuye DBO<sub>5</sub> en aproximadamente un 35%.

#### **1.3.4.1 Sedimentación**

Es un proceso físico que aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas. Los sólidos, más pesados que el agua, precipitan produciéndose su separación del líquido (Collazos 2008).

Esta operación unitaria consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales (Metcalf y Eddy 1995).

La mayor parte de las sustancias en suspensión y disolución en las aguas residuales no pueden ser retenidas en las rejillas y desarenadores utilizados en la etapa de pretratamiento, debido a su finura o densidad. Por ello se recurre a la sedimentación, también conocida como decantación.

La sedimentación se produce reduciendo la velocidad de circulación de las aguas residuales, con lo que el régimen de circulación se vuelve cada vez menos turbulento y las partículas en suspensión se van depositando en el fondo del sedimentador. Se realiza en tanques rectangulares o cilíndricos donde se remueve aproximadamente el 65% de los sólidos suspendidos.

En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo (Metcalf y Eddy 1995).

#### **1.3.4.2 Flotación**

Es un proceso utilizado para la separación de partículas sólidas o líquidas en un medio líquido, siempre utilizando como principio la diferencia de densidad entre los sólidos y/o aceites y grasas con el agua. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas,

normalmente aire, en la fase líquida, para así arrastrar las partículas suspendidas hacia la superficie.

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida y para la concentración de los fangos biológicos (Metcalf y Eddy 1995). Mientras que, en el tratamiento de aguas residuales domésticas, este proceso se utiliza para remover aceites y grasas y también para aglutinar sólidos suspendidos (Collazos 2008).

Este proceso es utilizado por lo general en flujos con alta cantidad de sólidos suspendidos de baja densidad luego de un proceso de coagulación-floculación. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta (Metcalf y Eddy 1995).

#### **1.3.4.3 Filtración**

A pesar de que la filtración es una de las principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua potable, la filtración de efluentes procedentes de procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Se emplea de modo generalizado para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos, también se utiliza para la eliminación del fósforo precipitado por vía química y como etapa previa de un proceso de electrodiálisis (Metcalf y Eddy 1995).

La filtración puede realizarse como etapa única de separación de sólidos en suspensión o con un tratamiento previo de coagulación-floculación que permita separar los sólidos de menor tamaño y la materia coloidal.

El objetivo básico de la filtración consiste en separar las partículas y microorganismos objetables que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación (Arboleda, 2000).

#### **1.3.5 Coagulación- Floculación**

En la depuración de aguas residuales, es habitual someterlas a un tratamiento físico-químico previo a su descarga a los medios receptores (ríos, pantanos, mares, etc.), o a su reutilización, siendo el más utilizado la coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

Las aguas potables o residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersos que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelen dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos.

Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado.

Este tipo de tratamiento presenta grandes ventajas: una menor sensibilidad a las variaciones tanto de caudal como de composición; gran flexibilidad en el diseño de la planta y posibilidad de adaptación según las características del vertido ya que puede ser aplicado a diversos efluentes, estudiando en cada caso el producto que proporcione los mejores resultados (Aguilar y cols., 2002).

Dicho proceso se usa tanto para la remoción de turbidez orgánica o inorgánica, color verdadero y aparente, así como para la eliminación de bacterias patógenas (Arboleda 2000). En las dos últimas décadas se ha profundizado en el estudio de la coagulación-floculación y en el empleo de nuevos coagulantes y floculantes, tanto inorgánicos como orgánicos, para conseguir una buena eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión totales, en los procesos de depuración de aguas residuales urbanas y efluentes industriales (Aguilar y cols., 2002).

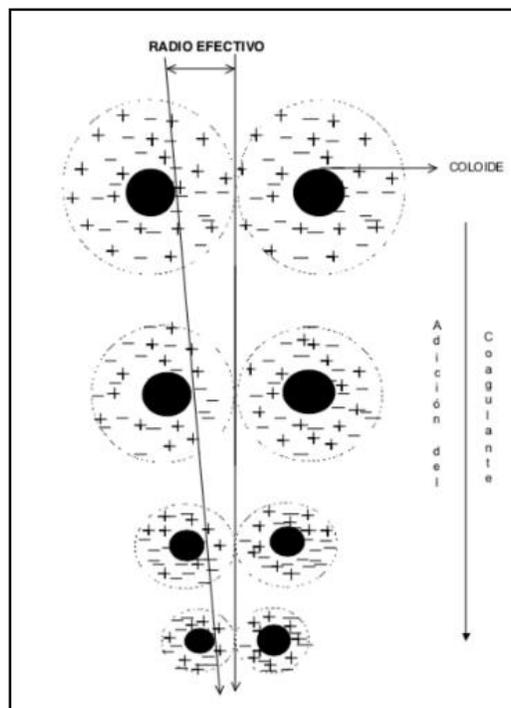
#### **1.3.5.1 Coagulación**

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Con el termino coloides se refiere a suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, además son las causantes de la turbidez y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situado sobre su superficie. Estas cargas llamadas

cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos (Andía Cardenas, 2009).

En la Figura 1.3, se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.



*Figura 1.3* Proceso de coagulación (Andía Cardenas, 2009).

La coagulación es el método convencional debido a su simplicidad tecnológica y a que elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas a un menor costo en comparación con otros métodos, sin embargo, cuando este proceso no es realizado correctamente se puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representar gastos de operación no justificados. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

El proceso de coagulación no solo sirve para remover partículas y eliminar turbidez, sino que también es capaz de remover patógenos que se encuentran unidos a dichas partículas,

mejorando proporcionalmente la calidad del agua (Chavesta Saavedra y Velásquez Peña, 2020).

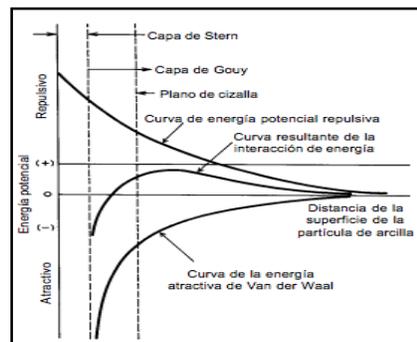
### i) Mecanismos de la coagulación

El proceso de desestabilización química de acuerdo con (Andía Cardenas, 2009) se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

#### a) Compresión de la doble capa:

Cuando dos coloides semejantes se aproximan uno a otro, ocurre interacción entre las capas difusas, lo que hace que haya repulsión debido a la fuerza electrostática entre ellos. La energía potencial de repulsión, que disminuye con la distancia a partir de la superficie del coloide, cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante.

Además, existen fuerzas atractivas entre las partículas denominadas fuerzas de Van der Waals. Tales fuerzas son atribuidas a las fluctuaciones de carga en los átomos y resultan de interacciones entre dipolos permanentes o inducidos en los átomos interactuantes de los coloides del agua. En la figura 1.4 se observa dicha energía potencial de interacción entre dos partículas.



**Figura 1.4** Energía potencial de interacción entre dos coloides (Barrenechea Martel, 2009).

El trabajo necesario para la aproximación de dos partículas coloidales semejantes, si se parte de una distancia infinita, se conoce como energía potencial de repulsión y es mayor cuando la distancia entre las mismas es menor.

La figura 1.4 ayuda a explicar el fenómeno de desestabilización: la curva de atracción de Van der Walls es fija mientras que la de repulsión eléctrica disminuye si se incrementan en la solución los iones de carga opuesta. En consecuencia, si se reduce el potencial repulsivo,

decrece también la curva resultante de interacción. Por lo tanto, las partículas pueden acercarse suficientemente para ser desestabilizadas por la energía atractiva de Van der Waals. La introducción de un electrolito indiferente en un sistema coloidal causa un incremento de la densidad de cargas en la capa difusa y disminución de la “esfera” de influencia de las partículas, y ocurre la coagulación por compresión de la capa difusa. Concentraciones elevadas de iones positivos y negativos (fuerza iónica grande) en el agua acarrearán un incremento del número de iones en la capa difusa que, para mantenerse eléctricamente neutra, necesariamente tiende a reducir su volumen, de modo tal que las fuerzas de Van der Waals sean dominantes, y se elimine la estabilización electrostática (Barrenechea Martel, 2009). Un ejemplo típico de este mecanismo ocurre cuando aguas dulces con fuerza iónica pequeña se mezclan con agua de mar, lo que promueve la formación de depósitos en las desembocaduras. Cabe destacar dos aspectos interesantes sobre ese mecanismo de coagulación:

1. La concentración del electrolito que causa la coagulación es prácticamente independiente de la concentración de coloides en el agua.
2. Es imposible causar la reestabilización de las partículas coloidales con la adición de mayores cantidades de electrolitos debido a que ha ocurrido una reversión de la carga de las mismas, que pasa a ser positiva.

**b) Adsorción y neutralización de cargas.**

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético o potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica.

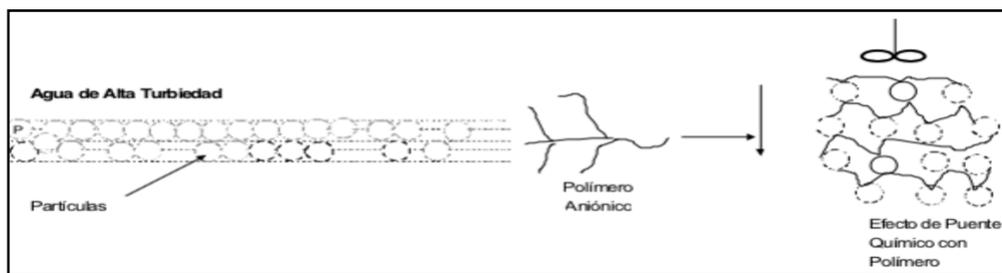
Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que los excesos de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original (Andía Cardenas, 2009).

**c) Atrapamiento de partículas en un precipitado.**

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un flóculo, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , o Cloruro Férrico  $FeCl_3$ , el flóculo está formado de moléculas de  $Al(OH)_3$  o de  $Fe(OH)_3$ . La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales aceleran la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del flóculo; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbidez y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante (Andía Cardenas, 2009).

**d) Adsorción y puente.**

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una reestabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros; tal como se indica en la figura 1.5.



**Figura 1.5** Efecto de puente de las partículas en suspensión (Andía Cardenas, 2009).

## ii) Etapas de la coagulación

Se menciona que el proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas de acuerdo a (Andía Cardenas, 2009).

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

Se tiene la figura 1.6 en donde se ilustran dichas etapas

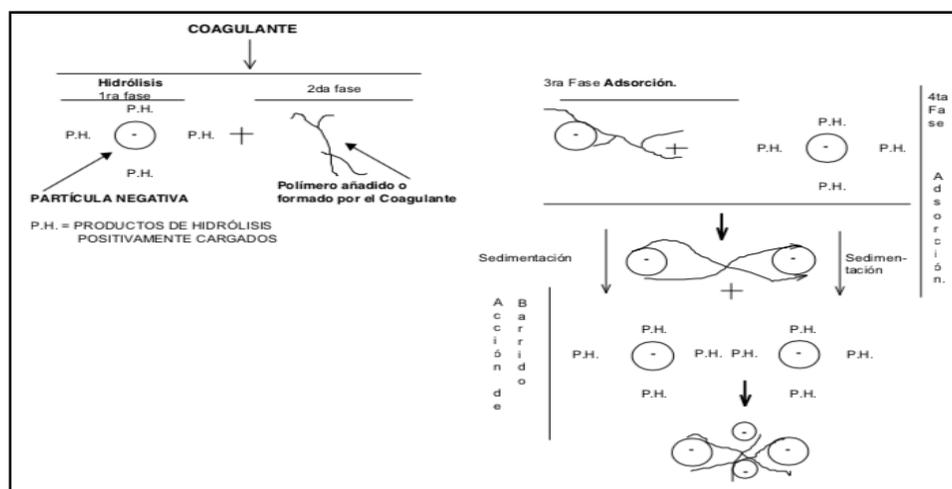


Figura 1.6 Fases de la coagulación (Andía Cardenas, 2009)

## iii) Tipos de coagulación

Se muestran los dos tipos básicos de coagulación:

### a) Coagulación por adsorción:

Se presenta cuando el agua muestra una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidos por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea (Andía Cardenas, 2009).

Cuando la cantidad de coloides presentes en el agua es grande, la distancia entre ellos es pequeña. Por lo tanto, es mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su

desestabilización es menor, así como el potencial zeta resultante (Barrenechea Martel, 2009).

**b) Coagulación por barrido:**

Este tipo de coagulación se presenta normalmente cuando el agua es clara y el porcentaje de partículas coloidales es pequeño. En este caso, las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de hidróxido de aluminio (Barrenechea Martel, 2009).

Debido a que la distancia entre las partículas es mayor, las fuerzas de atracción son menores y se requiere mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas, lo que aumenta el potencial zeta y el tiempo de reacción, que puede llegar hasta 7 segundos.

**iv) Factores que afectan la coagulación**

De acuerdo con (VÁSCONEZ CRUZ, 2013), los principales factores que afectan el proceso de coagulación son los que se detallan a continuación:

1. pH.
2. Turbidez.
3. Sales disueltas.
4. Temperatura del agua.
5. Tipo de coagulante utilizado.
6. Condiciones de Mezcla.
7. Sistemas de aplicación de los coagulantes.
8. Tipos de mezcla y el color.

Las interrelaciones entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

**a) Influencia del pH.**

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta.

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades. En el caso del Aloe Vera L. y Opuntia ficus se requiere un pH entre 6-7 de acuerdo con (MORALES OSORIO, 2018).

#### **b) Influencia de las sales disueltas**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

1. Modificación del rango de pH óptimo.
2. Modificación del tiempo requerido para la floculación.
3. Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
4. Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

#### **c) Influencia de la temperatura del agua**

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un flóculo (MORALES OSORIO, 2018) sugiere una temperatura ambiente entre 21–25 °C para el aloe vera.

#### **d) Influencia de la dosis del coagulante**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

1. Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto, la turbidez residual es elevada.
2. Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas

velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbidez residual es igualmente elevada.

3. La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.
4. La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre: la buena o mala calidad del agua clarificada y el buen o mal funcionamiento de los decantadores.
5. Las dosis de coagulantes más adecuadas son las que reducen más la concentración bacteriológica y dan como resultado mayor economía en la desinfección. Hay tablas que relacionan la cantidad de coagulante con la de turbidez del agua. Sin embargo, la cantidad exacta solamente se puede determinar con una prueba.

**e) Influencia de mezcla**

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg. máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos. La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

**f) Influencia de la turbidez**

La turbidez del agua superficial es debido a una gran parte de partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5  $\mu\text{m}$ . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

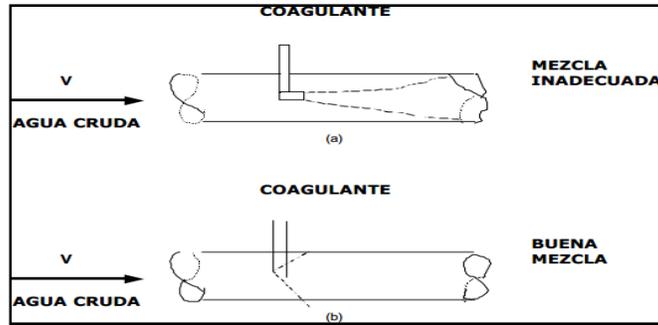
1. Para cada turbidez existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbidez residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
2. Cuando la turbidez aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante, no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando la turbidez es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbidez fuese alta.
3. Cuando la turbidez es muy alta, conviene realizar una pre sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico. Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbidez y aquellas contaminadas, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

**g) Sistema de aplicación del coagulante**

Se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando:

1. El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable.
2. La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.

En la Figura 1.7 se observan las condiciones de mezcla del coagulante con el agua; y se determina que la mejor mezcla es cuando el coagulante adicionado cae en su totalidad a la masa de agua (Figura. 1.7 b). Esta condición se obtiene por medio de los equipos de dosificación tanto para los coagulantes al estado sólido y estado líquido, que deben encontrarse calibrados y comprobados en la práctica por medio de las pruebas de aforamiento.



*Figura 1.7* Condiciones de mezcla del coagulante con el agua (VÁSCONEZ CRUZ, 2013).

#### v) Principales coagulantes

De acuerdo con (VÁSCONEZ CRUZ, 2013) los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floculante son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados. Sin embargo (Diestra Ramos y Ramos Paredes, 2019) mencionan 3 clasificaciones que se describen a continuación:

##### a) Coagulantes metálicos:

Poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes; cuando son disueltos estos forman compuestos complejos hidratados como:  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  y  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ .

##### b) Poli electrólitos:

Son polímeros orgánicos sintéticos de gran tamaño molecular con carga eléctrica neta, estos coagulantes son muy eficaces en un amplio rango de pH y debido a su alto costo se utilizan junto con los coagulantes metálicos. Se clasifican según su carga en:

- i. **Catiónicos**, con carga positiva: al entrar en contacto con el agua forman aniones, que permiten remover las partículas de carga negativa y son más eficaces a pH bajo.
- ii. **Aniónicos**, que tienen carga negativa: al entrar en contacto con el agua forman cationes, que permiten remover las partículas de carga positiva y son más eficaces a pH alto.
- iii. **No iónicos**, son neutros: al entrar en contacto forman iones positivos y negativos, pero se necesitan dosis mayores en comparación con los anteriores para obtener resultados similares.

**c) Coagulantes naturales:**

Que son el objeto de estudio de esta investigación; se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos.

Presentan una mínima o nula toxicidad, en muchos casos son productos alimenticios, con alto contenido de carbohidratos y proteínas. Entre el grupo de sustancias conocidas que poseen estas propiedades aglomerantes se encuentran algunos compuestos orgánicos de origen vegetal, los cuales pueden obtenerse del tallo o las semillas de una enorme variedad de plantas como la moringa oleífera, la tuna, el frijol, maíz, entre otros.

### **1.3.5.2 Floculación**

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad (Andía Cardenas, 2009).

Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. Sin embargo, si los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no son lo suficientemente grandes como para sedimentar con la rapidez deseada, es necesario emplear un material floculante.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del

flóculo, sino que también aumenta su peso dando la facilidad de su sedimentación y su posterior separación por decantación.

### **i) Tipos de floculación**

Acorde con (Andía Cardenas, 2009), se muestran 2 tipos de floculación:

#### **a) Floculación pericinética**

Esta producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

#### **b) Floculación ortocinética**

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética.

### **ii) Parámetros a considerar en la floculación**

Mediante (VÁSCONEZ CRUZ, 2013) los parámetros que caracterizan la floculación son los siguientes:

1. Floculación ortocinética (se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
2. Gradiente de velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
3. Número de colisiones (choque entre microflóculos).
4. Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
5. Densidad y tamaño de flóculos.
6. Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

### **iii) Principales floculantes**

Los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga (VÁSCONEZ CRUZ, 2013) clasifica los coagulantes de la siguiente manera:

- a) **Floculantes minerales:** se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.
- b) **Floculantes orgánicos naturales:** son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Los alginatos, cuya estructura polimérica son los ácidos manuránicos y los ácidos glucónicos.
- c) **Floculantes orgánicos de síntesis:** son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de  $10^6$  a  $10^7$  gr./mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros: Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico), neutros o no iónicos (poliacrilamidas) y catiónicos (copolímeros de las acrilamidas más un monómero catiónico).

### 1.3.5.3 Ensayo de prueba de jarras

El ensayo de prueba de Jarras o Jar Test of Water es la técnica más ampliamente utilizada para la determinación de la dosis de químicos y otros parámetros. En ella se trata de simular el proceso de coagulación floculación a nivel de laboratorio.

Existe en el mercado una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero en toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variar la velocidad de agitación (rpm).

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos (Yaniris, 2006) menciona:

1. pH
2. Temperatura
3. Concentración de coagulante
4. Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
5. Grado de agitación
6. Tiempo de sedimentación

De manera simplificada el test consta de una serie de jarras a las cuales se les añade un 1 litro del agua que se desea tratar. Luego, se adiciona el coagulante en las concentraciones

adecuadas. Sin embargo, se puede utilizar la norma ASTM D2035 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water.

### **i) Condiciones de la prueba de jarras**

Debido a que la prueba de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos (Yaniris, 2006).

#### **1. Mezcla rápida**

El objetivo de la mezcla rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario en el líquido contenido en la jarra para poner en contacto los reactivos químicos con las partículas coloidales del agua, a modo de neutralizar sus cargas, desestabilizarlas y hacer que se aglomeren en un corto período de tiempo. El tiempo de aplicación de la mezcla rápida depende de la clase del coagulante. Por ejemplo, los polímeros se distribuyen más lentamente que los iones metálicos debido a su mayor molécula, por lo tanto, requerirán mayor tiempo o mayor gradiente de velocidad que los coagulantes metálicos hidrolizantes.

#### **2. Mezcla lenta**

Generalmente, el tiempo de mezcla no excede de 15 minutos de acuerdo con (Yaniris, 2006). Un tiempo excesivo puede crear calentamiento de la muestra originando una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación, ya que ocurre la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los flóculos y los hacen flotar. Es práctica de 3-15 min, 20-40 rpm.

#### **3. Reposo (Sedimentación)**

Se recomiendan un tiempo de reposo de 30 minutos.

El método también menciona lo siguiente:

Las soluciones químicas deben ser recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se benefician con el tiempo, la mayoría se deterioran. Los resultados obtenidos con muestras añejas o que ya llevan mucho tiempo no son representativas. El volumen de químicos a añadir en la jarra para obtener la dosis deseada (ppm), se puede calcular a partir de la ecuación 1:

$$V_x = \frac{DV}{C_{104}} \text{ (ecuación 1)}$$

Donde:

Vx: ml de químico requerido en la jarra.

D: Dosis de químico deseada, p.p.m.

V: Volumen de la muestra en la jarra, (ml)

C: Concentración de químico en la solución madre, (%)

Factor: 10, (p.p.m./%)

Las muestras para las pruebas deben ser lo más representativa del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas, debido a la inestabilidad de la suspensión coloidal; por lo que no se recomienda correr pruebas de jarras con más de dos horas de captadas.

La adición de químicos debe realizarse en el mismo orden en que son añadidos en planta o en el caso de la clarificación a nivel domiciliario. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH. Algunas plantas usan el cloro para la desinfección, oxidando la materia orgánica y eliminando parte del color.

Se debe tener cuidado de no demorar la adición de los químicos si se necesita una adición simultánea de los mismos, ya que se estarían alternando las condiciones de la prueba (Yaniris, 2006).

#### **1.4 Diseño de proceso para la obtención de un coagulante natural de Aloe Vera (Barbadensis Miller)**

El uso potencial de los productos de sábila con frecuencia, implica algún tipo de tratamiento, por ejemplo, calefacción, deshidratación o molienda. Desafortunadamente y debido a los procesamientos inadecuados que se llevan a cabo durante la preparación y estabilización del gel, se causan modificaciones irreversibles en componentes bioactivos como polisacáridos y compuestos antioxidantes, afectando su estructura original y promoviendo cambios importantes en las propiedades bioquímicas, haciendo que muchos de los productos contengan muy poco o casi ningún ingrediente activo.

Es por ello que en las últimas décadas diversos estudios se han enfocado a investigar los principales compuestos químicos activos responsables de los efectos terapéuticos reportados, de igual manera se han interesado en desarrollar un método eficaz para mantener y preservar

de manera natural dichos compuestos contenidos en el gel de aloe vera con la finalidad de mejorar la calidad de producto. Cuando el gel de aloe vera se expone al aire, este se oxida rápidamente y se descompone, perdiendo gran parte de su actividad biológica. Se han descrito diferentes técnicas de procesamiento del gel con respecto a su estabilización y esterilización, es decir, el procesamiento en frío o el tratamiento térmico.

Sin embargo, el principio fundamental de estas técnicas de procesamiento sigue siendo prácticamente el mismo. Independientemente de la calidad de la planta por sí misma, los mejores resultados se obtienen cuando las hojas se procesan inmediatamente después de la cosecha, esto es debido a que el gel sufre una descomposición provocada por reacciones enzimáticas, así como el crecimiento de bacterias, debido a la presencia de oxígeno, elevada actividad de agua y alto contenido de azúcares (R.N. Dominguez-Fernandez, y otros, 2011).

#### **1.4.1 Procesos de extracción de aloe vera**

En diversos ensayos realizados sobre procedimiento de extracción del mucílago de la penca del aloe vera para diferentes usos especialmente en alimentos o farmacéuticos, se ha determinado que uno de los mejores procedimientos con resultados eficaces es el siguiente:

- a) Evaluación de la planta: Antes de empezar a extraer el gel se debe realizar una evaluación de la planta de aloe vera, para verificar que sus hojas estén verdes y grandes, las cuales deben tener un largo aproximado de 20 cm (8 pulgadas).
- b) Operación de lavado: El lavado se realiza en tinas de acero inoxidable o plástico en operación manual, o mecanizada mediante el uso de bombas de recirculación de la solución de lavado compuesta por agua y un pequeño porcentaje de un agente tenso-activo tipo lauril sulfato de sodio o lauril éter sulfato de sodio, y cepillos giratorios.
- c) Operación de enjuague de la penca: El enjuague se realiza en tinas de acero inoxidable o plástico en operación manual, o mecanizada mediante el uso de bombas de recirculación de la solución de enjuague compuesta por agua y un agente bactericida como yodo o peróxido de hidrógeno.
- d) Despunte: El despunte de la planta puede ser manual o semi-automático, el cual se puede realizar en la mesa de descortezado, o en la banda transportadora.
- e) Despulpado: Este se realiza mediante rodillos compresores con limitadores de presión, que expulsan el gel del interior. La graduación de la presión es importante para no romper

las células pericíclicas que contienen el acíbar. También puede emplearse alternativamente el descortezado manual o mecanizado, en cualquier forma, una de las cuales se describe a continuación:

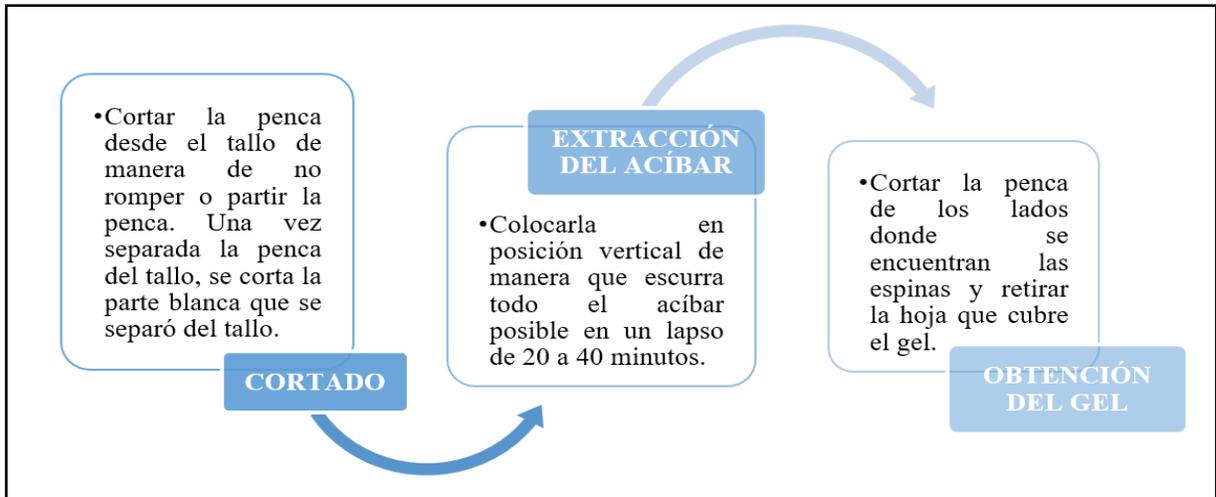
- i. Corte de los filos o bordes espinosos: Operación manual mediante cuchillas adosadas a la mesa de descortezado.
- ii. Descortezado automático: Mediante cuchillas de altura ajustable y conducción por rodillos en la mesa de descortezado. También puede emplearse una herramienta de corte circular (tipo fresa) para el descortezado por desbaste.
- iii. Lavado del gel por aspersión de agua sobre el cristal y escurrimiento: Operación realizada sobre banda transportadora con aspersores de agua. La sustancia amarilla (acíbar) secretada por la corteza al ser cortada y presente en las células pericíclicas en la corteza, es completamente soluble en agua y por tanto se puede retirar por auto-deslodantes y de limpieza manual.

No obstante, para el uso del gel del aloe vera en la obtención de un material coagulante, se ha investigado dos distintos métodos de cómo extraer y preparar el material coagulante, los que se detallan a continuación:

#### **1.4.2 Método A: Extracción del coagulante a nivel de laboratorio a partir del aloe vera (Barbadensis Miller).**

De acuerdo a la revisión de la bibliografía se encontró que el gel contenido en esta planta presenta un patrón de polímeros naturales denominados polisacáridos, los cuales a su vez están formados de monosacáridos y tienen por tarea de servir como las reservas de energía de distintas especies vegetales (como la papa). Estos a su vez presentan propiedades beneficiosas en el proceso de coagulación-floculación ya que se observa la atracción de partículas coloidales facilitando la clarificación del agua (López Aranda, Canché-Uuh J. A, Guevara-Franco J. L, y Oropeza-García N, 2017).

El proceso que (López Aranda, Canché-Uuh J. A, Guevara-Franco J. L, y Oropeza-García N, 2017) plantea se describe en la Figura 1.8:



**Figura 1.8** Primer proceso de extracción y preparación del material coagulante a partir del aloe vera.

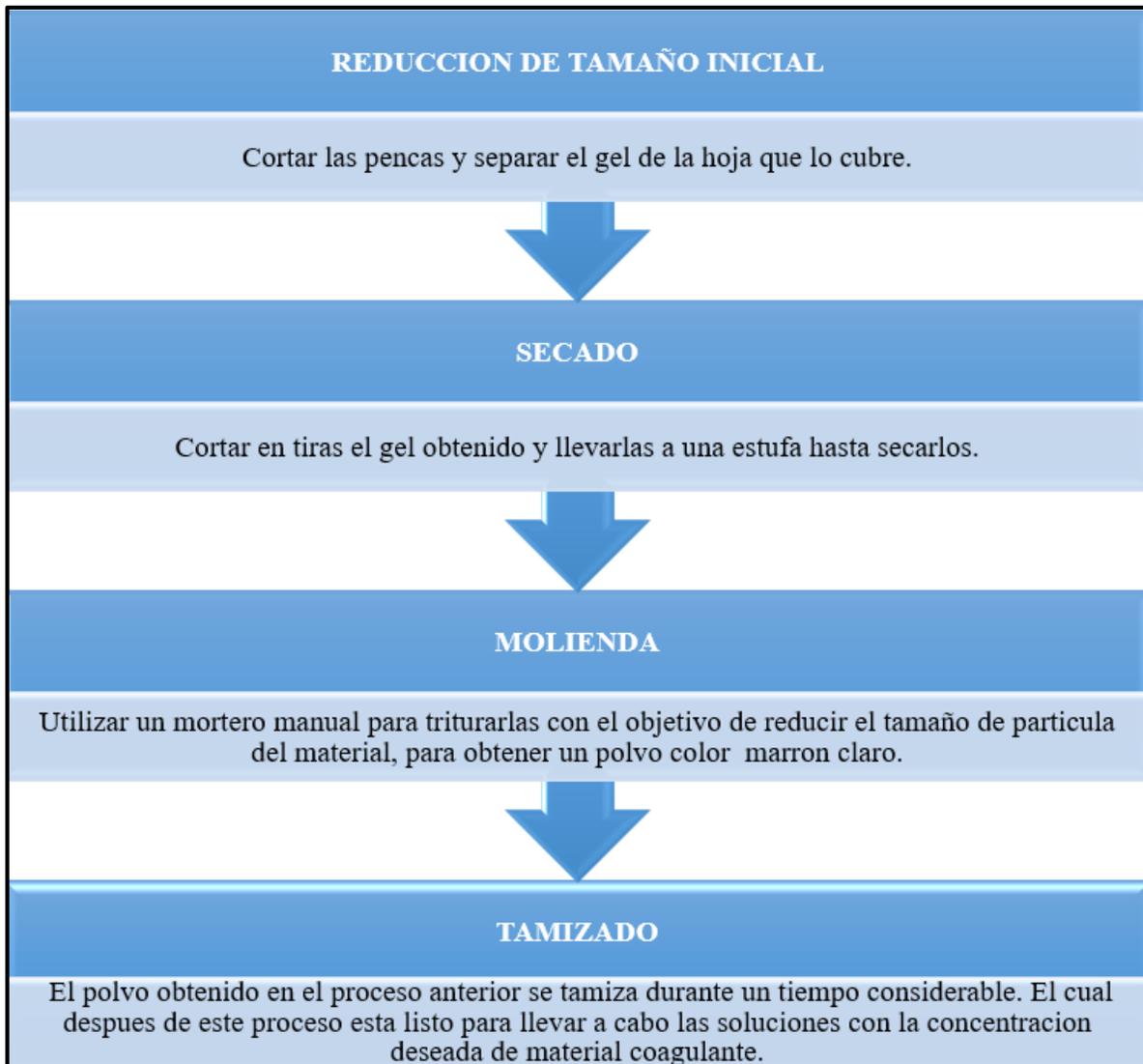
#### **Procedimiento para una solución de 250ml al 30%:**

- 1- Retirar y pesar 75gr de gel de Aloe Vera y licuar con 250 ml de agua destilada por 20 segundos.
- 2- Filtrar con un tamiz No. 15 y remover la espuma generada por el licuado.
- 3- Finalmente se deposita en un matraz aforado o en un vaso de precipitado según el uso inmediato que se le dé a la solución.

No obstante, menciona que la solución de Aloe Vera debe de utilizarse en las primeras 24 horas después de su preparación, ya que presenta un tiempo de oxidación rápido y con esto la pérdida de sus propiedades. Se puede observar cuando la materia ya está en su proceso de oxidación cuando se presenta una coloración.

#### **1.4.3 Método B: Extracción del coagulante a nivel de laboratorio a partir del aloe vera (Barbadensis Miller).**

De acuerdo con (Diestra Ramos y Ramos Paredes, 2019) la extracción del material coagulante se obtuvo a partir del procedimiento que se indica en la Figura 1.9:



*Figura 1.9* Segundo proceso de extracción y preparación del material coagulante a partir del aloe vera.

Estos dos son los procesos comúnmente utilizados en la preparación del material coagulante en donde la diferencia radica en que en uno se hace un proceso de secado mientras que en el otro solo se licua el gel.

### **1.5 Manejo y disposición final de residuos sólidos**

La gestión de residuos o desechos, se refiere a la recolección, transporte, procesamiento, tratamiento, reciclaje o disposición de material de desecho, generalmente producida por la actividad humana, en un esfuerzo por reducir los efectos perjudiciales en la salud humana y la estética del entorno, aunque actualmente se trabaja en reducir los efectos perjudiciales ocasionados al medio ambiente y en recuperar los recursos del mismo (MSPAS , 2007 ).

La Agencia de la Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) y los países centroamericanos (incluyendo El Salvador), desde el año 2005 han acordado desarrollar las siguientes directrices para la gestión de los desechos sólidos: (MSPAS , 2007 ).

- i. La prevención y reutilización de desechos, la cual se refiere a las opciones de la política, en lo concerniente al manejo integrado de desechos sólidos, lo que incluye la prevención, la reutilización y la reducción de desechos.
- ii. Producción de compostaje, considerando que más del 50% del flujo de desechos está compuesto por varias formas de desechos orgánicos que incluyen desechos de alimentos y jardines, los materiales orgánicos se pueden compostar para proporcionar una gran oportunidad para reducir la cantidad de desechos que de otra forma irían a parar a un vertedero, y ellos también proveen un producto final valioso que puede generar ingresos para las comunidades.
- iii. Recuperación y reciclaje, debido a que existen muchas oportunidades para reciclar una gran porción de los materiales presentes en el flujo de desechos; para lo cual se deben desarrollar mercados, métodos de recolección, centros de recuperación de material, compra de productos reciclados, e identificación de materiales prioritarios para el reciclaje.
- iv. Recolección de desechos, para poder proveer una recolección de desechos segura, eficiente, sanitaria y orientada a las necesidades del cliente, es esencial dentro de cualquier programa de manejo de desechos sólidos.
- v. Disposición de desechos sólidos, esta directriz presenta opciones de políticas para facilitar el período de transición hacia prácticas más modernas para la disposición de desechos. Se aborda también, la necesidad de clausurar vertederos a cielo abierto; el desarrollo de regulaciones relacionadas con el diseño, construcción y operación de vertederos de rellenos sanitarios; el fomento de vertederos de rellenos sanitarios regionales; la prohibición de quemas descontroladas de basuras; la definición y manejo de categorías especiales de desechos y el mantenimiento de costos razonables para la disposición de desechos.

El manejo inadecuado de residuos sólidos ha sido un problema constante a lo largo de los años, cuya urgencia aumenta a medida que se acerca un punto de no retorno ambiental.

En El Salvador se producen más de 3 mil 600 toneladas de residuos diarias, según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la composición de los residuos generados es: 58% materia orgánica y 42% materia inorgánica. La composición de la fracción inorgánica es; 2% aluminio, 2% vidrio, 11% plástico, 19% papel y 8% otros, de éstas el 75% puede reciclarse, reutilizarse o comportarse. La legislación salvadoreña cuenta con herramientas legales para proteger el medio ambiente entre las que se indican en la tabla 1.9:

**Tabla 1.9** *Leyes, códigos y reglamentos aplicables a la gestión de residuos sólidos.*

<b>LEGISLACIÓN Y ARTÍCULO APLICABLE</b>	<b>ANÁLISIS</b>
<b>Constitución de El Salvador. Art. 65 y 117</b>	La constitución de la República de El Salvador en los artículos 65 y 117, regula el buen manejo de los desechos sólidos desde la recolección hasta la disposición final.
<b>Ley del Medio Ambiente Art. 52</b>	Este artículo, otorga la responsabilidad de formular un Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos al MARN, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, los Gobiernos Municipales y otras organizaciones competentes.
<b>Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje (Todo el documento)</b>	Tiene por objeto lograr el aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos, a fin de proteger la salud de las personas, el medio ambiente y fomentar una economía circular, a través del establecimiento de una visión sistémica en la gestión integral de los residuos, la determinación de los actores y su forma de interacción, y la asignación de responsabilidades para lograr cambios conductuales en la población (Decreto N° 527, 2020).
<b>Reglamento Especial Sobre El Manejo Integral De Los Desechos Sólidos (Todo el documento)</b>	Tiene por objeto regular el manejo de los desechos sólidos. El alcance del mismo será el manejo de desechos sólidos de origen domiciliario, comercial, de servicios o institucional; sean procedentes de la limpieza de áreas públicas, o industriales similares a domiciliarios, y de los sólidos sanitarios que no sean peligrosos (Decreto N° 42, 2000 ).
<b>Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje (Todo el documento)</b>	Tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje, que se podrá denominar “la Ley”, para lograr la aplicación de la misma a través de la coordinación sistémica de las entidades involucradas y los particulares, relacionados con la gestión integral de residuos y el reciclaje.

### **1.5.1 Manejo y disposición final de residuos sólidos generados en la elaboración del material coagulante natural**

De acuerdo con (Barajas Suárez y Vera Morales, 2020), el corte y fileteo de la penca de aloe vera es el procedimiento que genera mayor cantidad de residuos orgánicos. La producción de residuos en la planta procesadora de aloe vera Bioanbay SAS en Colombia, es de

aproximadamente 150 kilos/semanal de residuos orgánicos y 10 kg/semanal de residuos inorgánicos.

Los residuos orgánicos se convierten en un residuo que genera lixiviados, este líquido al tener constante contacto con el suelo puede llegar a contaminarlo debido a sus características tóxicas y pH bajo, lo que en el tiempo podría conllevar a una pérdida de nutrientes y por ende a la erosión. Estos desechos sólidos están compuestos de la cáscara, espinas, puntas, y el tallo de donde son desprendidas las pencas de aloe vera, sin olvidar también, aquellas pencas que tienen una baja calidad para ser procesadas.

Algunos estudios como el de (Torres-Gómez, Marulanda-Raigoso, y Villa-Ramírez, 2020), han caracterizado la calidad fisicoquímica de dichos residuos llegando a la conclusión que este contiene 92,4 % de humedad, 0,43 % de cenizas, 39.6 % de fibra, 1,25 % de extracto etéreo, 0.95% de actividad de agua y un pH de 4,98. Encontrándose en un nivel promedio o dentro de los rangos teóricos, aunque con un alto contenido en fibra.

Dichos autores sugieren que de acuerdo a los análisis bromatológicos realizados a los desechos orgánicos y el alto porcentaje de fibra que arrojó el análisis de laboratorio este tipo de residuos podría usarse como complemento alimenticio para bovinos y especies menores. Sin embargo, (Barajas Suárez y Vera Morales, 2020) presentaron un programa sobre el manejo de los residuos sólidos generados por el procesamiento del aloe vera. En dicha ficha técnica se detalla a profundidad las acciones a implementar y la metodología sobre el manejo de los desechos sólidos, sugiriendo la construcción de una pila de compostaje para dicho tratamiento, en donde se busca que los residuos generados sean utilizados para la elaboración de abonos orgánicos ya que poseen un buen potencial de aprovechamiento.

## CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1 Formulación del agua residual doméstica.

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje peso por agua, cerca del 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos que son de tipo orgánico e inorgánico. Casi la totalidad de la materia orgánica, contenida en ellas, está constituida por residuos de alimentos, excretas, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos. Se estima que la fracción orgánica es el principal constituyente de las ARD y que corresponde hasta el 70% de la materia sólida presente y el 30% restante es fracción inorgánica (Rodríguez Sanchez y Lozano Rivas, 2012). La investigación que (Rodríguez Sanchez y Lozano Rivas, 2012) realizó, propuso un sustrato sintético para componer agua residual sintética, de preparación sencilla y con compuestos de fácil consecución, la cual se comportara bioquímicamente de forma análoga al agua residual doméstica, para que pueda ser usada en investigaciones a nivel de laboratorio. En la Tabla 2.1 se muestra la composición del sustrato sintético propuesto.

**Tabla 2.1** *Composición del sustrato sintético propuesto (Rodríguez Sanchez y Lozano Rivas, 2012).*

Compuesto	Cantidad (mg/L)	Observaciones
Leche en polvo	100	La descremada es más rica en sales minerales, pero tiene menos contenido de grasa. Si no tiene azúcar, evaluar la necesidad de agregar glucosa. No usar deslactosada.
Gelatina sin Sabor	35	Si además es sin azúcar, evaluar la necesidad de agregar glucosa a la mezcla.
Almidón	170	Se puede usar Fécula de Maíz, comercialmente conocida como "maicena".
Sal común	7	NaCl
Azúcar	28	Glucosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )
Urea	3	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
Fosfato Bicálcico	40	CaHPO <sub>4</sub> – 2H <sub>2</sub> O
Sulfato de Magnesio	2.5	Conocida comercialmente como Sal de EPSON
Inoculo de microorganismos	10 a 15 g SSV/L o 70ml/L	Se puede usar lodo activado de un reactor de aguas residuales existente.
Jabón de tocador	3 gotas	Líquido y No Antibacterial. Para algunos ensayos, puede prescindirse de él.
Aceite de Soya	15 gotas	Puede prescindirse de él en algunos ensayos.

No obstante, para el presente trabajo se realizaron modificaciones en cuanto a los reactivos que se resumen en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Composición agua residual doméstica a utilizar en el desarrollo experimental.

Compuesto	Cantidad (mg/L)
Urea	3
Acetato de Sodio	1.15
Fosfato acido de Potasio	0.5
Sulfato de Magnesio	3
Cloruro de calcio	4
Azúcar	20
Sal común	8
Leche en polvo	100
Jabón líquido	20 gotas

Cada reactivo se pesó cuidadosamente en una balanza analítica calculando la cantidad a utilizar de cada uno de ellos, para un volumen de 18 litros de agua residual sintética; a excepción del jabón líquido el cual se midió en una probeta. En la Figura 2.1 se muestran los reactivos utilizados para dicha formulación.



**Figura 2.1** Reactivos utilizados para la elaboración de agua residual doméstica.

En los recipientes de plástico donde se realizó la solución se agregaron estos reactivos y luego con ayuda de probetas con capacidad de 1 L se midió 18 Litros de agua potable, las cuales se mezclaron con los reactivos antes pesados; auxiliándose de agitadores de vidrio para homogenizar la mezcla.

Una vez obtenida el agua residual sintética se realizó la caracterización fisicoquímica. En la Figura 2.2 se observa el agua residual doméstica obtenida.



*Figura 2.2* Agua residual doméstica obtenida.

### **2.1.1 Caracterización de la muestra cruda del agua residual (formulada)**

Para la caracterización del agua residual doméstica formulada se consultó previamente laboratorios acreditados por la Organización Salvadoreña de Acreditación (OSA) en los cuales se analizarán parámetros de interés como la demanda bioquímica de oxígeno, entre otros. Por lo que se tomó a bien realizar el análisis del agua residual doméstica en el Laboratorio externo LECC ubicado en San Salvador, para ello se preparó en la planta piloto 1 galón de muestra y se le tomaron parámetros fisicoquímicos iniciales, los cuales se presentan en la tabla 2.3:

**Tabla 2.3** *Parámetros fisicoquímicos iniciales de la muestra enviada al laboratorio externo.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor obtenido</b>
Turbidez (NTU)	310.2
Temperatura (°C)	28
pH	6.87

El informe de análisis realizado por el laboratorio LECC se recibió 10 días después de la recepción de la muestra, siendo comparados con las especificaciones de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009 y con el Decreto No.130: Reglamento técnico salvadoreño: Aguas Residuales, resumiéndose en las tablas 2.4 y 2.5 y en el Anexo 1:

**Tabla 2.4** Comparación de resultados contra especificación de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009.

<b>Determinación</b>	<b>Especificación (Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009)</b>	<b>Resultados</b>
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	LMP: 450 mg/L	40.0 mg/L
Sólidos Sedimentables (SS)	LMP: 20 mg/L	Menor a 0.1mL/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	LMP: 1000 mg/L	372.3 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO <sub>5</sub> )	LMP: 400 mg/L	214.5 mg/L
Aceites y grasas	LMP: 150 mg/L	11.6 mg/L

**Tabla 2.5** Comparación de resultados contra especificación del Decreto No.130: Reglamento técnico salvadoreño: Aguas Residuales.

<b>Determinación</b>	<b>Especificación (Decreto No.130: RTS 13.05.01:18)</b>	<b>Resultados</b>
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	LMP: 60 mg/L	40.0 mg/L
Sólidos Sedimentables (SS)	LMP: 1 mg/L	Menor a 0.1mL/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	LMP: 150 mg/L	372.3 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO <sub>5</sub> )	LMP: 60 mg/L	214.5 mg/L
Aceites y grasas	LMP: 20 mg/L	11.6 mg/L

## 2.2 Recolección de la sábila (Aloe vera)

La metodología utilizada para la recolección y preservación de la materia prima (Aloe vera) se describe a continuación:

1. Visita al municipio de Zacatecoluca ubicado en el departamento de La Paz que se caracteriza por tener un clima cálido con temperaturas que oscilan entre los 26°C y 30°C, lo cual es un lugar que cumple con las condiciones para un crecimiento efectivo de la planta de Aloe vera. El equipo de protección personal utilizado para la recolección fue: gabacha, guantes, mascarilla.

2. Teniendo presente la investigación bibliográfica del apartado 1.4.1; se realizó una evaluación de la planta antes de extraerla para verificar que sus hojas estén verdes y grandes: las cuales deben tener un largo aproximado de 20 cm (8 pulgadas), de igual forma se consultó a los proveedores de las plantas de Aloe vera el tiempo de crecimiento el cual debe ser mayor o igual a los 2 años, estableciendo así que cuente con las propiedades para obtener resultados óptimos.

La figura 2.3 muestra la evaluación realizada de la planta de Aloe vera.



*Figura 2.3* Evaluación de la planta aloe vera.

3. Para la extracción de la planta de Aloe vera se utilizó como herramienta cuchillos, teniendo el debido cuidado de cortar correctamente desde la raíz; tal como se observa en la figura 2.4.



*Figura 2.4* Extracción de la planta aloe vera.

4. Como se ha mencionado en el capítulo 1, la parte de interés de la planta Aloe vera es el gel que representa el 65% al 80% del peso total de la planta, este gel está protegido por

la cáscara de color verde, presentando una ventaja en el transporte en vehículo hacia San Salvador, ya que se utilizaron depósitos de plástico nuevos de boca ancha e inertes para colocar la planta sin obstruirla, sin contaminación por materias extrañas y ser llevada a su almacenaje.

5. El almacenaje de la planta se realizó en una casa ubicada en el municipio de Mejicanos departamento de San Salvador donde previamente se evaluó las condiciones de temperatura que rondan entre los 24°C y 28°C las cuales eran correctas para el almacenaje de dicha planta en presencia de la luz solar, teniendo presente un tiempo de almacenamiento de 4 días antes de ser utilizada.
6. Pasado los 4 días la planta de Aloe vera se transportó en automóvil a la planta piloto de la Universidad de El Salvador ubicada en el departamento de San Salvador, previo a ser utilizado.

### **2.3 Metodologías seleccionadas para la extracción del material coagulante.**

Las metodologías para la extracción y formulación del coagulante natural a partir del aloe vera fueron seleccionadas basándose en los mejores resultados obtenidos mediante la revisión bibliográfica efectuada con anterioridad. Ambos métodos utilizados en este apartado han sido expuestos con mayor profundidad en el capítulo 1 del presente estudio, sección 1.4.2 referido al método A y en la sección 1.4.3 referido al método B.

El método A, también denominado método del macerado, fue retomado gracias a los aportes hechos por (López Aranda, Canché-Uuh J. A, Guevara-Franco J. L, y Oropeza-García N, 2017), el cual divide el proceso en 4 etapas principales: Cortado, Extracción de Acíbar, Obtención del gel y Formulación del coagulante.

Por otra parte, el método B denominado como método del secado, propuesto por (Diestra Ramos y Ramos Paredes, 2019), divide el proceso en 5 etapas: Reducción de tamaño inicial, Secado, Molienda, Tamizado y Formulación del coagulante.

En esta sección se presentará la formulación del coagulante natural a escala de laboratorio, a partir de ambos métodos, con el objetivo de evaluar su efectividad en el proceso de tratamiento de aguas residuales, en especial aguas de tipo ordinario, mediante pruebas de coagulación-floculación y determinación de la dosis óptima requerida para el debido tratamiento.

Todas las modificaciones realizadas a ambos procesos de extracción del coagulante fueron aplicadas con la finalidad de mejorar el proceso y el rendimiento del producto final, por lo que cada una de ellas son expuestas en sus respectivos apartados.

### 2.3.1 Descripción del método A de extracción del material coagulante

El método A para la extracción del coagulante a partir de las pencas de aloe vera consta de 4 etapas (Cortado, Extracción de Acíbar, Obtención del gel y Formulación del coagulante), las cuales son descritas a continuación:

**a) Cortado.**

Se deben cortar con sumo cuidado las pencas desde el tallo de la planta de aloe vera a manera de no romperla o dañarla.

**b) Lavado.**

Posterior a ello deben ser lavadas para quitar cualquier exceso de tierra o suciedad que estas tengan en la superficie.

**c) Pesado.**

Al tener todas las pencas ya cortadas, se procede a pesar todas ellas en conjunto con ayuda de una balanza o báscula. Los resultados de esta etapa se detallan en la tabla 2.6 y figura 2.5:

**Tabla 2.6** *Peso total de la planta aloe vera.*

Cantidad de pencas cortadas	Peso total
18	11.12 kg



**Figura 2.5** *Etapas de cortado de las pencas de aloe vera.*

#### d) Extracción del acíbar

Se procede a cortar la base de cada penca para colocarlas en posición vertical durante un tiempo de 20 a 40 minutos, con la finalidad de que se escurra la máxima cantidad de acíbar posible contenido en ellas; la figura 2.6 muestra la posición adecuada para la extracción del acíbar.



*Figura 2.6* Etapa de extracción de acíbar de aloe vera.

#### e) Obtención del gel

Pasado el tiempo de escurrimiento del acíbar, se procede a la obtención del gel. Para ello con ayuda de un cuchillo se recorta el costado de las pencas, quitando las espinas que poseen, para luego retirar la hoja que recubre al gel del aloe vera.

#### f) Pesado del gel.

Cuando se han pelado todas las pencas y se tiene el total de gel, tanto el residuo sólido obtenido (espinas, hoja que recubre el gel, etc.) como el gel se pesan para poder conocer las cantidades obtenidas de toda la planta de aloe vera. Las cantidades se detallan en la tabla 2.7 y figura 2.7:

**Tabla 2.7** *Cantidades del gel y residuos.*

Cantidad de gel obtenido	Cantidad de residuo obtenido
7.00 kg	4.12 kg



**Figura 2.7** Etapa de obtención del gel de aloe vera.

### **g) Formulación del coagulante**

Una vez obtenido el gel, se pesan las cantidades detalladas en la tabla 2.8; y utilizando una licuadora para homogenizar 50 ml de agua destilada junto con los diferentes pesos de gel de aloe vera; tal como se muestra en la figura 2.8; de esta manera se obtuvieron las siguientes soluciones de material coagulante:

**Tabla 2.8** Concentraciones de las diferentes soluciones de material coagulante.

<b>Gel (g)</b>	<b>Concentración (g/mL)</b>
0.15	0.003
0.3	0.006
0.45	0.009
0.6	0.012
0.75	0.015
0.9	0.018
1.05	0.021
1.5	0.03
2.0	0.04
2.5	0.05
3.0	0.06
3.5	0.07

Utilizando un colador, se remueve la espuma generada en el licuado de la solución. Posterior a ello se colocan las soluciones de coagulante en beakers de 50 ml y se rotulan con su respectiva concentración.

**Nota:** Las soluciones de coagulante preparadas en el método A deben ser utilizadas en las primeras 24 horas desde su preparación para evitar que se oxiden y pierdan las propiedades de interés.



*Figura 2.8* Preparación de las soluciones de coagulante natural.

### **2.3.2 Descripción del método B de extracción del material coagulante.**

De acuerdo con (Diestra Ramos y Ramos Paredes, 2019) la extracción del material coagulante se obtiene a partir del procedimiento que implica 5 pasos: la reducción del tamaño inicial, secado, molienda, tamizado y formulación del coagulante; sin embargo, el procedimiento que se llevó a cabo fue más riguroso debido a que se implementó pasos indispensables para obtener mejores resultados, los cuales se describen a continuación:

#### **a) Cortado.**

Con ayuda de cuchillos se corta las pencas desde el tallo de la planta de aloe vera teniendo un sumo cuidado de no agrietarlas o dañarla. Mencionar que la planta de Aloe vera contaba con 2 pencas en mal estado partidas por la mitad como se muestra en la figura 2.9, por lo cual fueron desechadas siendo parte de los desperdicios generados.



*Figura 2.9* Pencas en mal estado.

#### **b) Lavado**

Las pencas deben ser lavadas para quitar cualquier exceso de tierra o suciedad que estas tengan en la superficie evitando así influyan en el proceso de obtención del material coagulante.

**c) Pesado**

Al tener todas las pencas ya cortadas y lavadas, se pesan en conjunto utilizando báscula. Los resultados de esta etapa se detallan en la tabla 2.9:

**Tabla 2.9** *Peso total de la planta aloe vera.*

<b>Cantidad de pencas cortadas</b>	<b>Peso total</b>
11	3.78 kg

**d) Extracción del acíbar**

Conociendo el peso total de las 11 pencas se corta la base de cada una de ellas con la finalidad de que escurra la mayor cantidad de acíbar (sustancia líquida y amarillosa), para ello se colocan en posición vertical en un lapso de tiempo de 20 a 40 minutos, teniendo en cuenta que la base cortada a cada penca son parte de los desperdicios.

**e) Obtención del gel**

Utilizando cuchillos se retira la cáscara de la penca de Aloe vera, para ello primero se corta los costados de la penca en donde se encuentran los dientes espinosos y luego se retira la cáscara que recubre el gel, este proceso se realiza con sumo cuidado para evitar que se extraiga gel junto con la cáscara y causar así desperdicio de la materia prima. La figura 2.10 refleja la obtención del gel de Aloe vera.



**Figura 2.10** *Obtención del gel de aloe vera.*

**f) Pesado del gel de Aloe vera**

Una vez obtenido el gel de aloe vera se deposita en bandejas de aluminio nuevas de masa de 0.24 kg, y se procede a pesar en la balanza, de esta manera se conocerá la cantidad de desperdicios (cáscara, pencas en mal estado, base de la penca). Las cantidades se detallan en la tabla 2.10:

**Tabla 2.10** Cantidades obtenidas de gel de aloe vera.

Cantidad de gel obtenido	Cantidad de residuo obtenido
2.12 kg	1.66 kg

**g) Secado**

Utilizando la estufa proporcionada por la planta piloto de la Universidad de El Salvador se colocaron las bandejas con el gel obtenido, a una temperatura de 95°C durante un tiempo de 4 horas; según figura 2.11. Sin embargo, al transcurrir el tiempo se observó que el gel aún tenía un porcentaje alto de humedad y no se había secado, únicamente había cambiado a un color rosado tierno.



*Figura 2.11* Estufa a 95°C.

Analizando la situación se tomó a bien utilizar un horno de cocina, figura 2.12, y la temperatura a 100°C durante 3 horas más, lo que se tuvo como resultado fue una disminución en el volumen de los trozos del gel como se muestra en la figura 2.13.



*Figura 2.12* Secado en horno casero.



**Figura 2.13** Disminución de volumen del gel.

No obstante, en la figura 2.13 se identifica que el contenido de humedad era alto, por tal razón se optó como último paso secarlo con la luz solar durante 2 días, teniendo como resultado el gel seco con una textura lista para ser triturada, como se observa en la figura 2.14.



**Figura 2.14** Secado con luz solar.

#### **h) Trituración del gel seco**

Para este paso se utilizó una licuadora de la marca Oster en la cual se depositó el gel previamente secado y se trituro hasta tenerlo en forma de polvo. La trituración tomo un tiempo de 1 hora. Posterior a la trituración el polvo obtenido se hizo pasar por un colador para eliminar partículas de gran tamaño y finalmente se pesó obteniendo los resultados de la tabla 2.11 y figura 2.15, figura 2.16:

**Tabla 2.11** Cantidad de polvo y desperdicios.

Cantidad de Aloe vera en polvo obtenido	Cantidad de residuo obtenido
0.0183 kg	2.10 kg



**Figura 2.15** Trituración del gel.



**Figura 2.16** Gel pulverizado.

**i) Formulación del coagulante**

Una vez obtenido el gel pulverizado y con ayuda de una balanza analítica se pesan las cantidades detalladas en la tabla 2.12; para la elaboración de las soluciones del material coagulante utilizando 50 mL de agua destilada. Tener presente que cada solución debe ser rotulada con la respectiva concentración a la vez que dichas soluciones deben ser utilizadas en las primeras 24 horas de su preparación.

**Tabla 2.12** Concentraciones de las diferentes soluciones de material coagulante.

Gel pulverizado (g)	Concentración (g/mL)
0.15	0.003
0.3	0.006
0.45	0.009
0.6	0.012
0.75	0.015
0.9	0.018

(Continúa...)

**Tabla 2.12** Concentraciones de las diferentes soluciones de material coagulante (Continuación).

Gel pulverizado (g)	Concentración (g/mL)
1.05	0.021
1.5	0.03
2.0	0.04
2.5	0.05
3.0	0.06
3.5	0.07

## 2.4 Test de jarras

Teniendo ya las soluciones coagulantes de ambos métodos con las concentraciones correspondientes y el agua residual doméstica, se realizó el test de jarras para determinar la capacidad del aloe vera para ser utilizado como coagulante-floculante, así como también para determinar la dosis óptima necesaria para poder disminuir los parámetros de interés turbidez y DBO<sub>5</sub> a sus valores mínimos posibles.

Para ello se deben medir 350 ml de agua residual doméstica previamente elaborada para depositarla en cada uno de los beakers que serán utilizados en el equipo de prueba de jarras. Se colocan los beakers (debidamente rotulados) que representarán la primera corrida en el equipo de prueba de jarras, y se programan parámetros de operación del equipo, que se reflejan en la tabla 2.13 y figura 2.17:

**Tabla 2.13** Parámetros de operación del equipo de jarras.

Velocidad de agitación rápida		Velocidad de agitación lenta	
Revoluciones (rpm)	Tiempo de Agitación (min)	Revoluciones (rpm)	Tiempo de Agitación (min)
150	2	30	25



**Figura 2.17** Parámetros de operación del equipo de jarras.

Antes de empezar la primera corrida en el equipo de prueba de jarras, se agregaron los 50 ml de las soluciones de coagulante en cada beaker completando así un total de 400 ml de solución formada por el agua residual doméstica y el material coagulante disuelto, según lo detalla la tabla 2.14 y figura 2.18:

**Tabla 2.14** Primera corrida del test de jarras.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)
T1	0.003
T2	0.006
T3	0.009
T4	0.012
T5	0.015
T6	0.018
T7	0.021



**Figura 2.18** Etapas de agitación rápida y lenta para primera corrida.

Una vez finalizadas las etapas de agitación, se dejan reposar las mezclas durante 1 hora. Mientras se dejan reposar los beakers que conforman la primera corrida se realizó la segunda corrida con las soluciones correspondientes como se aprecia en la tabla 2.15 y figura 2.19:

**Tabla 2.15** Segunda corrida del test de jarras.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)
T8	0.03
T9	0.04

(Continúa...)

**Tabla 2.15** Segunda corrida del test de jarras (Continuación)

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)
T10	0.05
T11	0.06
T12	0.07



**Figura 2.19** Etapas de agitación rápida y lenta para segunda corrida.

**NOTA:** El procedimiento efectuado para la realización del test de jarras se debe realizar tanto para el método A o método del macerado, como para el método B o método del secado. Es decir que para ambos métodos se debe realizar dos corridas para asegurar la obtención de la dosis óptima necesaria para disminuir los parámetros de interés turbidez y DBO<sub>5</sub>. Una vez efectuadas ambas corridas se miden los parámetros pH final, turbidez final y temperatura final, todo esto para cada jarra, y así poder verificar la dosis óptima de material coagulante con el cual el parámetro turbidez se vio reducido en comparación a su valor inicial.

#### **2.4.1 Evaluación de parámetro turbidez**

Para la evaluación de la turbidez a cada jarra de ambos métodos se utilizó el turbidímetro digital portátil TB-200 orbeco el cual fue proporcionado por la planta piloto de la Universidad de El Salvador. Antes de iniciar con la lectura de los datos se verificó la calibración de dicho aparato y al no estar calibrado se procedió a realizar el siguiente procedimiento:

El turbidímetro viene equipado con 3 estándares con valores de: 0.0, 10.0 y 100.0 NTU y un recipiente vacío; en donde se debe colocar la muestra a analizar.

Primero se presionó la tecla CAL y se ingresó el estándar 0.0 NTU; se corrió la lectura obteniendo un valor aproximado de 0.0, luego se ingresó el siguiente estándar correspondiente a 10.0 NTU y de igual forma se obtuvo un valor cercano a 10.0 NTU y

finalmente se ingresó el último estándar de 100.0 NTU y al obtener un valor aproximado a 100.0 NTU se concluye el turbidímetro está calibrado, listo para utilizarse.

Indicar que esta calibración se realizó 4 veces; 2 corridas para el método A del macerado y 2 corridas para el método B del secado, esto para obtener resultados precisos y confiables.

Para la lectura del valor de la turbidez con ayuda de una probeta se agregaba 10 mL de la muestra en análisis y se colocaba en el recipiente vacío del turbidímetro, luego se ingresaba en la parte superior del aparato y se le presiona la tecla iniciar, el tiempo que tarda en dar el resultado es de 60 segundos, este procedimiento se realizó para cada una de las jarras de ambos métodos.

Los resultados que se presentan en la tabla 2.16 y 2.17 corresponden al método A:

**Tabla 2.16** Resultados de turbidez corrida 1 método A.

<b>Tratamiento</b>	<b>Concentración de solución coagulante (g/mL)</b>	<b>Turbidez final (NTU)</b>
T1	0.003	10.06
T2	0.006	10.02
T3	0.009	10.01
T4	0.012	9.93
T5	0.015	9.82
T6	0.018	8.97

**Tabla 2.17** Resultados de turbidez corrida 2 método A.

<b>Tratamiento</b>	<b>Concentración de solución coagulante (g/mL)</b>	<b>Turbidez final (NTU)</b>
T7	0.021	8.94
T8	0.03	8.3
T9	0.04	7.97
T10	0.05	7.63
T11	0.06	7.17
T12	0.07	8.43

Los resultados que se presentan en la tabla 2.18 y 2.19 corresponden al método B:

**Tabla 2.18** Resultados de turbidez corrida 1 método B.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Turbidez final (NTU)
T1	0.003	127
T2	0.006	73.68
T3	0.009	71.2
T4	0.012	62.6
T5	0.015	63.27
T6	0.018	65.2

**Tabla 2.19** Resultados de turbidez corrida 2 método B.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Turbidez final (NTU)
T7	0.021	69.76
T8	0.03	80.75
T9	0.04	89.75
T10	0.05	90.11
T11	0.06	95.2
T12	0.07	97.3

#### 2.4.2 Evaluación de pH

En esta sección se muestran los resultados de la medición de pH, realizada con el Phmetro PH60S Apera Instruments, correspondiente a cada una de las jarras utilizadas para la verificación de la capacidad de coagulación-floculación del coagulante de aloe vera. Los datos de las mediciones de pH para las 4 corridas totales efectuadas, 2 por cada método, se presentan en las tablas 2.20, 2.21, 2.22 y 2.23.

**Tabla 2.20** Resultados de pH corrida 1 método A.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	pH
T1	0.003	7.05
T2	0.006	7.11
T3	0.009	7.12

(Continúa...)

**Tabla 2.20** Resultados de pH corrida 1 método A (Continuación).

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	pH
T4	0.012	7.1
T5	0.015	7.1
T6	0.018	7.11
T7	0.021	7.39

**Tabla 2.21** Resultados de pH corrida 2 método A.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	pH
T8	0.03	7.11
T9	0.04	7.3
T10	0.05	7.2
T11	0.06	6.52
T12	0.07	7.5

**Tabla 2.22** Resultados de pH corrida 1 método B.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	pH
T1	0.003	7.11
T2	0.006	6.7
T3	0.009	6.5
T4	0.012	6.62
T5	0.015	6.5
T6	0.018	6.08
T7	0.021	6.1

**Tabla 2.23** Resultados de pH corrida 2 método B.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	pH
T8	0.03	6.7
T9	0.04	6.65
T10	0.05	6.75
T11	0.06	6.82
T12	0.07	6.95

### 2.4.3 Evaluación de temperatura

En esta sección se muestran los resultados de la toma de temperatura, realizada con un termómetro de laboratorio, correspondiente a cada una de las jarras utilizadas para la verificación de la capacidad de coagulación-floculación del coagulante natural de aloe vera. Los datos de la toma de temperatura para las 4 corridas totales efectuadas, 2 por cada método, se presentan en las tablas 2.24, 2.25, 2.26 y 2.27.

**Tabla 2.24** Resultados de T corrida 1 método A.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Temperatura (°C)
T1	0.003	28
T2	0.006	28
T3	0.009	27
T4	0.012	26
T5	0.015	27
T6	0.018	28
T7	0.021	28

**Tabla 2.25** Resultados de T corrida 2 método A

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Temperatura (°C)
T8	0.03	26
T9	0.04	27
T10	0.05	28
T11	0.06	26
T12	0.07	28

**Tabla 2.26** Resultados de T corrida 1 método B.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Temperatura (°C)
T1	0.003	28
T2	0.006	27
T3	0.009	28
T4	0.012	28
T5	0.015	26
T6	0.018	27
T7	0.021	28

**Tabla 2.27** Resultados de T corrida 2 método B.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Temperatura (°C)
T8	0.03	28
T9	0.04	26
T10	0.05	27
T11	0.06	28
T12	0.07	28

## 2.5 Caracterización de la muestra tratada del agua residual doméstica

Seguido de realizar el test de jarras tanto para el método A y el método B, se observó que en el método A, se llega a un porcentaje de remoción del parámetro de turbidez del 97.68%, en comparación con el método B que se llegó a un porcentaje de 79.82%, y debido a esta diferencia se decidió preparar una muestra de 1 galón, con la concentración de coagulante natural que permitió tener ese porcentaje de remoción de turbidez en el método A; enviando dicha muestra al laboratorio especializado en control de calidad o por sus siglas LECC para su respectiva caracterización fisicoquímica.

Los parámetros fisicoquímicos de la muestra tomados en la planta piloto de la Universidad de El Salvador se presentan en la tabla 2.28:

**Tabla 2.28** Parámetros fisicoquímicos de la muestra enviada al laboratorio externo.

Parámetro	Valor obtenido
Turbidez (NTU)	7.17
Temperatura (°C)	26
pH	6.52

El informe de análisis realizado por el laboratorio LECC se recibió 10 días después de la recepción de la muestra, siendo comparados con las especificaciones de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009 y el Decreto No.130: Reglamento técnico salvadoreño: Aguas Residuales resumiéndose en la tabla 2.29 y 2.30 y Anexo 2:

**Tabla 2.29** Comparación de resultados contra especificación de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009.

<b>Determinación</b>	<b>Especificación (Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009)</b>	<b>Resultados</b>
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	LMP: 450 mg/L	32.0 mg/L
Sólidos Sedimentables (SS)	LMP: 20mg/L	Menor a 0.1mL/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	LMP: 1000 mg/L	370.6 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO <sub>5</sub> )	LMP: 400mg/L	183.3 mg/L
Aceites y grasas	LMP: 150 mg/L	10.1 mg/L

**Tabla 2.30** Comparación de resultados contra especificación del Decreto No.130: Reglamento técnico salvadoreño: Aguas Residuales.

<b>Determinación</b>	<b>Especificación (Decreto No.130: RTS 13.05.01:18)</b>	<b>Resultados</b>
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	LMP: 60 mg/L	32.0 mg/L
Sólidos Sedimentables (SS)	LMP: 1 mg/L	Menor a 0.1mL/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	LMP: 150 mg/L	370.6 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO <sub>5</sub> )	LMP: 60 mg/L	183.3 mg/L
Aceites y grasas	LMP: 20 mg/L	10.1 mg/L

## 2.6 Descripción de los equipos utilizados para la realización del experimento

La evaluación de parámetros fisicoquímicos se efectuaron en muestras de agua antes y después de ser tratada con el proceso de coagulación-floculación, y en la caracterización del agua residual doméstica, donde los análisis de turbidez, pH, y temperatura se realizaron en la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, utilizando los equipos correspondientes para cada una de las pruebas, estas descripciones se encuentran en la tabla

2.31, incluyendo además los equipos utilizados para la elaboración del material coagulante por ambos métodos:

**Tabla 2.31** Descripción de los equipos utilizados en el desarrollo experimental.

Descripción	Equipo
Balanza analítica marca Shimadzu modelo AUY220, utilizada para la medición de masas de coagulante y reactivos en la formulación del agua residual, gracias a que brinda una mayor precisión en las mediciones.	
Bascula peso Basic Trumax, con una capacidad máxima de 60 kg empleada para calcular los pesos de la planta del aloe vera, pesos de penca de aloe vera y residuos generados.	
Turbidímetro digital portátil TB-200 Orbeco, tiene el principio de funcionamiento de nefelometría y un rango de medición de 0.01-1100 NTU; fue utilizado para las mediciones de turbidez de cada jarra y del agua residual doméstica.	
Phmetro PH60s Apera Instruments, con electrodo de pH de punta suiza y una precisión de $\pm 0.01$ , utilizado en el desarrollo experimental para obtener los valores de pH de cada jarra en cada una de las repeticiones del test de jarras por cada método.	
Termómetro utilizado para las mediciones de temperatura de cada jarra en cada método de obtención del material coagulante y el agua residual sintética.	
Estufa de desecación por aire forzado, empleado para la deshidratación del gel del aloe vera.	
Licuadora industrial, eficaz para reducir el tamaño de partícula de las porciones de aloe vera deshidratado.	
Floculador digital de 6 plazas Raypa, con un microprocesador para el control de velocidades de revolución entre 15 y 300 rpm y un tiempo programable de 0 hasta 99 h, utilizado en el desarrollo experimental en la prueba de jarras para ambos métodos de obtención del material coagulante.	

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 3.1 Análisis de los resultados del agua residual doméstica sintética.

Las normas y reglamentos para la descarga de agua residual tienen como finalidad establecer los límites permisibles de los parámetros microbiológicos, físicos, químicos y radiológicos que debe cumplir el agua para proteger los sistemas de alcantarillado sanitario, así como los cuerpos de agua como lagos, ríos, mares, y de esta manera contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico. Por lo anterior se tomó a bien analizar y comparar los resultados obtenidos del agua residual doméstica sintética bajo la Norma ANDA Plan Hidro 2009 que corresponde a aguas de tipo especial para ser vertidas en el alcantarillado sanitario y el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS) 13.05.01:18 para aguas de tipo ordinaria que son vertidas en cuerpos de agua. Esta comparación consiste en calcular la diferencia respecto a los límites máximos permisibles de la Norma ANDA y el RTS con los valores obtenidos mediante el análisis de laboratorio del agua residual doméstica sintética. Estos cálculos se resumen en las tablas 3.1 y 3.2.

**Tabla 3.1** Comparación del agua residual doméstica sintética contra los límites máximos permisibles de acuerdo con el RTS 13.05.01.18.

Determinación	Especificación (Decreto No.130: RTS 13.05.01:18)	Resultados	Diferencia respecto al reglamento
Sólidos Suspendidos Totales	LMP: 60 mg/L	40.0 mg/L	-20
Sólidos Sedimentables	LMP: 1 mg/L	Menor a 0.1mL/L	-0.9
Demanda Química de Oxígeno	LMP: 150 mg/L	372.3 mg/L	+222
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días	LMP: 60 mg/L	214.5 mg/L	+154.5
Aceites y grasas	LMP: 20 mg/L	11.6 mg/L	-8.4

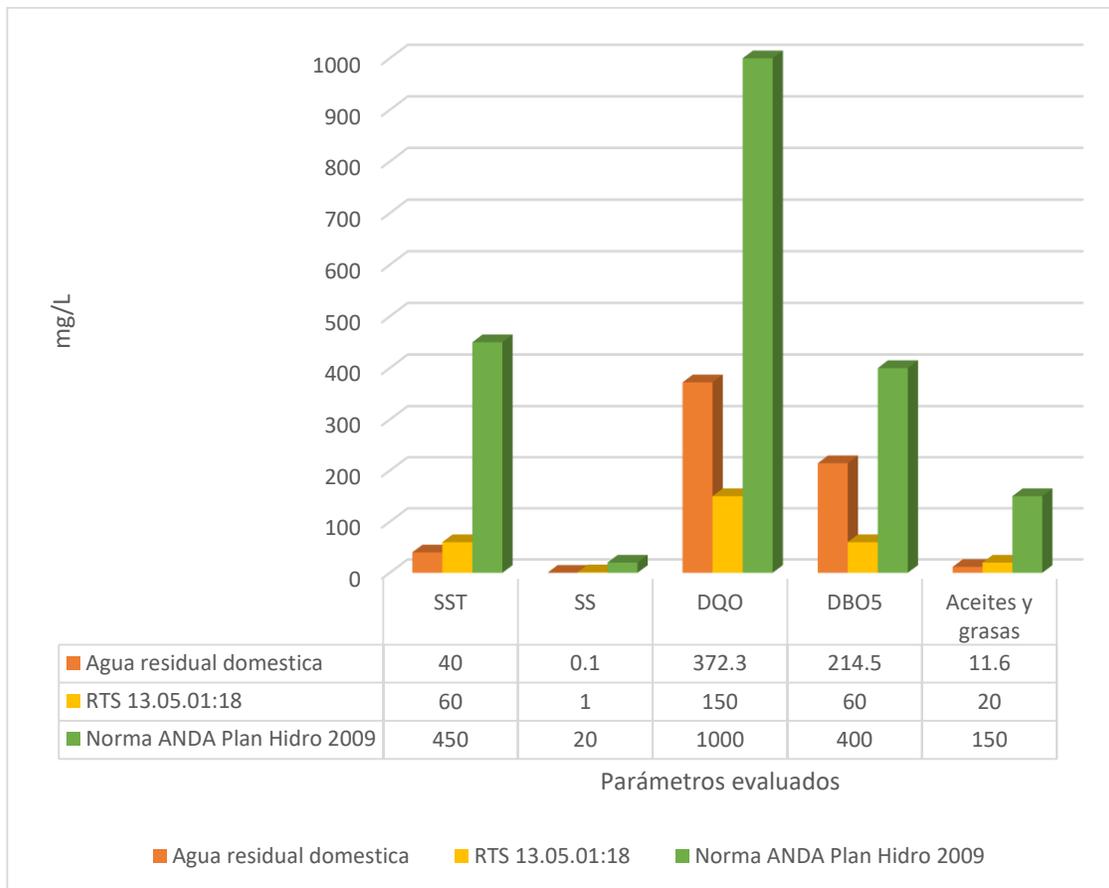
Analizando la tabla 3.1 bajo el RTS 13.05.01.18. se indica que una diferencia positiva expresa que el resultado se encuentra sobre el límite máximo permisible del RTS, como lo es el caso de la DQO y DBO<sub>5</sub>. Por el contrario, una diferencia negativa indica que el resultado del agua formulada se encuentra por debajo del límite máximo permisible como lo es el caso de los SST, SS y aceites y grasa. Por lo que fue necesario disminuir el valor de la DQO y DBO<sub>5</sub> siendo este último uno de los parámetros de interés.

**Tabla 3.2** Comparación del agua residual doméstica contra los límites máximos permisibles de acuerdo con la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009.

<b>Determinación</b>	<b>Especificación (Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009)</b>	<b>Resultados</b>	<b>Diferencia respecto a la Norma</b>
Sólidos Suspendidos Totales	LMP: 450 mg/L	40.0 mg/L	-410
Sólidos Sedimentables	LMP: 20 mg/L	Menor a 0.1mL/L	-19.9
Demanda Química de Oxígeno	LMP: 1000 mg/L	372.3 mg/L	-627.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días	LMP: 400 mg/L	214.5 mg/L	-185.5
Aceites y grasas	LMP: 150 mg/L	11.6 mg/L	-138.4

Analizando la tabla 3.2 bajo la Normativa ANDA Plan Hidro 2009 se indica que una diferencia positiva expresa que el resultado se encuentra sobre el límite máximo permisible; mientras que una diferencia negativa indica que el resultado del agua formulada se encuentra por debajo del límite máximo permisible. Observando los resultados en la tabla se cumple la normativa ya que los valores de todos los parámetros están por debajo de los límites máximos permisibles.

Se presenta el grafico de la figura 3.1 que muestra la comparativa de los resultados obtenidos del agua residual doméstica sintética versus los límites máximos permisibles indicados por la Normativa ANDA Plan Hidro 2009 y el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01.18.



**Figura 3.1** Comparación de agua residual doméstica sintética con el reglamento técnico salvadoreño 13.05.01:18 y la Norma ANDA plan hidro 2009.

De acuerdo a los resultados obtenidos se determina que el agua residual doméstica formulada con los compuestos indicados en la tabla 2.1 y sin ningún tratamiento previo, los parámetros sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y aceites y grasas cumplen con los límites máximos permisibles de acuerdo al Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18, sin embargo los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno no cumplen con las especificaciones de dicho reglamento, por lo que el agua residual doméstica sintética no puede ser depositada en ningún cuerpo de agua sin antes realizarle un proceso en el cual se verifique una disminución de dichos parámetros.

En el caso de la comparativa de los resultados obtenidos con la Norma ANDA Plan hidro 2009, el agua formulada si cumple con las especificaciones de dicha norma debido a que todos los parámetros se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, por lo que esta agua podría ser descargada en el sistema de alcantarillado.

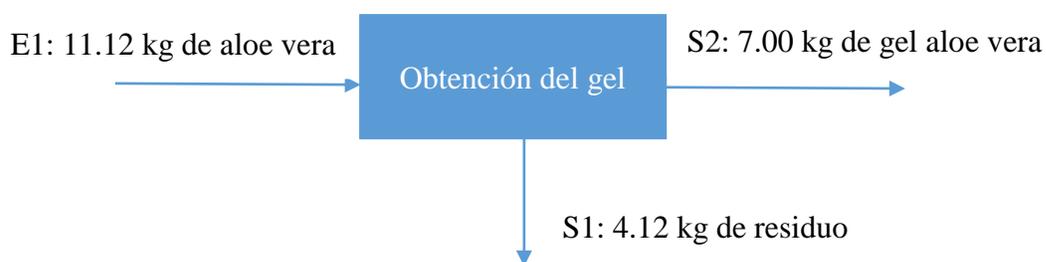
### 3.2 Balance de masa del proceso de extracción del coagulante natural Aloe vera.

En todo proceso integrado por distintas operaciones en el que se tenga como fin la obtención de un producto como lo es el coagulante natural de Aloe vera, es necesario contabilizar los flujos de materia a la entrada y salida del proceso, ya que permite inferir los niveles de desechos y su tratamiento, a la vez permite evaluar el rendimiento del proceso y con ello analizar su efectividad.

#### 3.2.1 Balance de masa método A

Como se muestra a lo largo de la presente investigación, el método A utilizado para la extracción y formulación de un coagulante natural a partir de aloe vera consta de etapas como lo son cortado, lavado, pesado, extracción de acíbar, obtención del gel de aloe y formulación del coagulante.

De todas estas etapas la que se representara en el balance de masa del método A es la etapa de obtención del gel, esto debido a que en las primeras etapas no se vio reflejado ningún cambio en la masa inicial de aloe vera ya que son procesos de manipulación y acondicionamiento de todas las pencas, además de que el producto de interés principal para la formulación del coagulante es directamente el gel de aloe. El balance de masa de la obtención del gel es el siguiente:



Como se puede observar en el balance anterior, la cantidad entrante de pencas de aloe vera para la obtención del gel que ayudo a la formulación de las soluciones coagulantes fue de 11.12 kg, de los cuales se obtuvo una cantidad de gel de 7 kg, todo eso después de haber efectuado todas las etapas anteriores a la obtención del gel en el método A. Se obtuvo una cantidad de residuos sólidos de 4.12 kg, conformados principalmente por toda la cáscara que recubre al gel del aloe vera, los cuales pueden ser reutilizados en diferentes actividades como

se encuentra descrito en el apartado 1.5.1 de la presente investigación, para el presente caso dichos residuos fueron destinados y utilizados como abono.

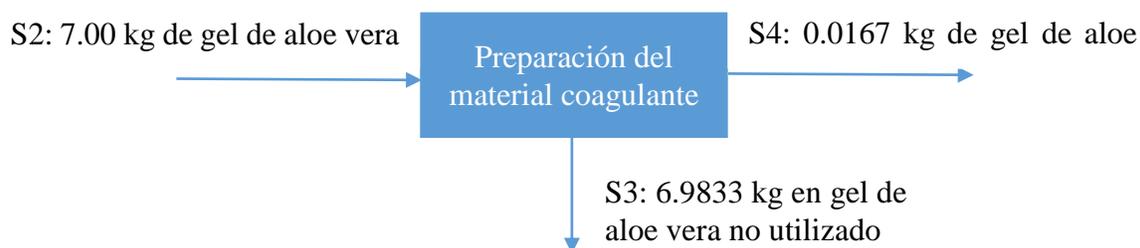
El rendimiento es calculado dividiendo la cantidad de gel obtenido (S2) entre la cantidad total de aloe vera que ingreso como materia prima (E1).

$$\text{Rendimiento} = \frac{7.00 \text{ kg de gel de aloe}}{11.12 \text{ kg de aloe vera}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.63 \text{ kg de gel de aloe}}{\text{kg de aloe vera}}$$

Cabe recalcar que a medida que se realizaba el proceso experimental se observó que la cantidad de gel obtenida de las 18 pencas de aloe vera utilizadas era demasiada comparado a las cantidades requeridas para llegar a las concentraciones adecuadas para cada una de las soluciones coagulantes del método A. Por lo que es importante mencionar que para llegar a las concentraciones antes mencionadas solo fue necesario utilizar las cantidades especificadas en la tabla 2.8 del capítulo II del presente documento.

A partir de lo mencionado anteriormente se tiene un nuevo balance de masa correspondiente al método A:



Como se observa en el diagrama, de la cantidad total obtenida de gel a partir de las 18 pencas (S2) solamente fue utilizada para la formulación de las soluciones coagulantes una cantidad de 0.0167 kg (S4), quedando sin ser utilizados 6.9833 kg del gel inicial.

Por lo que el gel sobrante inicialmente se decidió que fuera utilizado para realizar el método B y así evitar que se desperdiciara toda esa cantidad, pero cabe mencionar que la metodología utilizada en el método B no pudo ser realizada para la cantidad de gel sobrante en este método, esto debido a que las condiciones climáticas no eran las adecuadas para su realización, por lo que dicha cantidad se perdió durante el proceso de secado y representó en realidad una pérdida en el proceso.

El rendimiento en este caso es calculado dividiendo la cantidad de gel utilizada para la formulación de las soluciones coagulantes (S4) entre la cantidad de gel obtenido de las 18 pencas (S2):

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0167 \text{ kg de gel de aloe a utilizar}}{7.00 \text{ kg de gel de aloe vera}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0024 \text{ kg de gel de aloe a utilizar}}{\text{kg de gel de aloe vera}}$$

En la tabla 3.3 se indica el total de corrientes que conforman el proceso de obtención del coagulante a partir del método A.

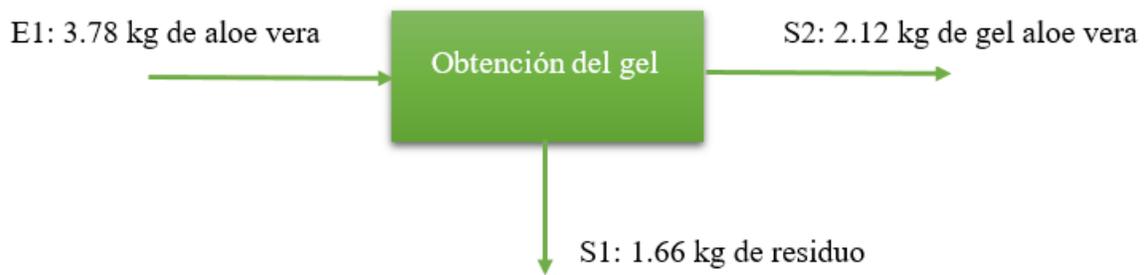
**Tabla 3.3** Resumen de corrientes del balance de masa para el método A.

Etapa	Corriente	Significado	Valor (kg)
Obtención del gel	E1	Entrada de la maceta de Aloe vera como materia prima	11.12
	S1	Desechos (cáscaras, tronco, pencas en mal estado, tierra)	4.12
	S2	Gel de aloe vera obtenido	7.0
Preparación del material coagulante	S3	Cantidad de gel no utilizado	6.9833
	S4	Cantidad de gel necesario para formulación de soluciones coagulantes	0.0167

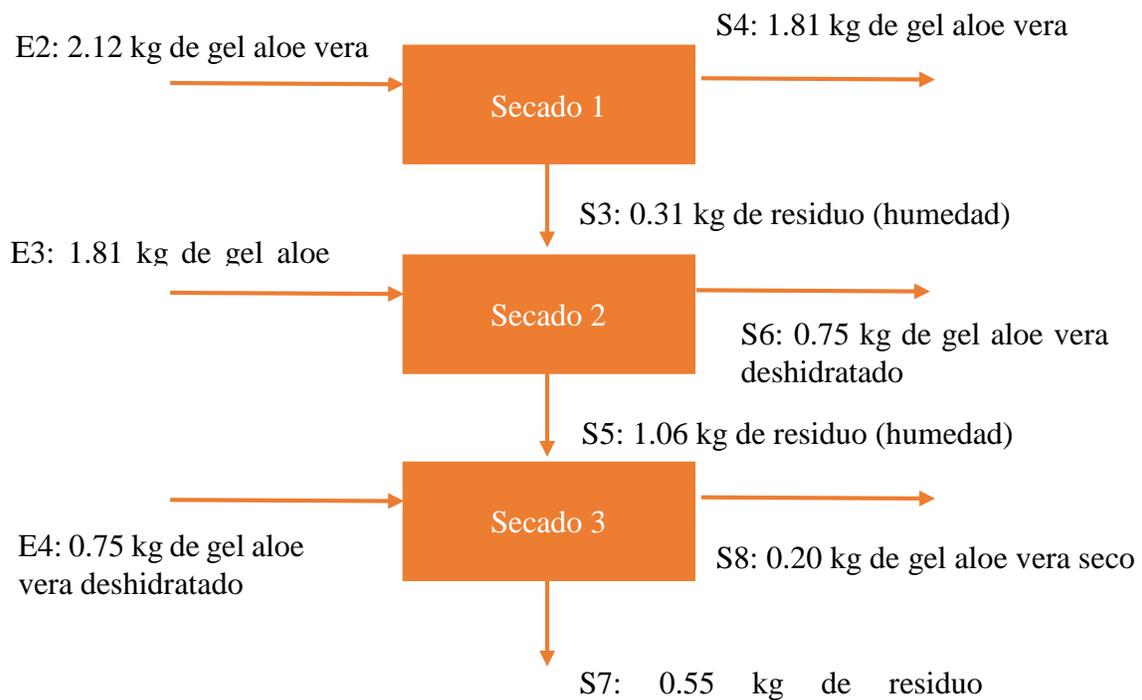
### 3.2.2 Balance de masa método B

En el apartado 2.3.2 se describió las etapas realizadas para la extracción del material coagulante por el método del secado, sin embargo en el balance de masa no todas las etapas influyen en el balance, esto debido a que en las primeras etapas no se vio reflejado ningún cambio en la masa inicial de aloe vera ya que son procesos de manipulación y acondicionamiento de todas las pencas, además de que el producto de interés principal para la formulación del coagulante es directamente el gel de aloe vera en polvo. A continuación, se presentan los balances de masa en las etapas de: Obtención del gel, secado y tamizado del gel seco triturado.

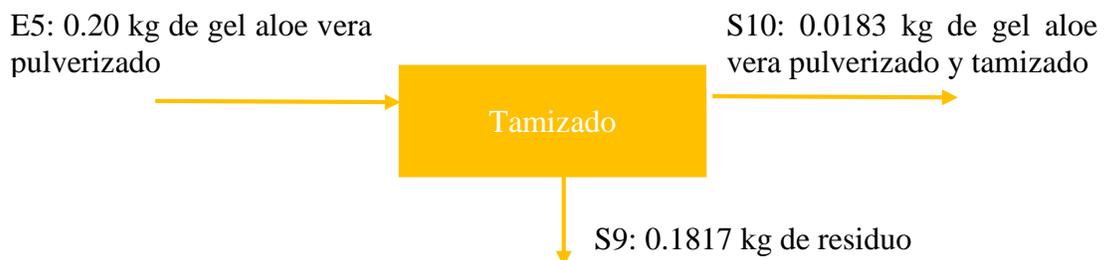
1. Balance de masa método B etapa de obtención del gel



2. Balance de masa método B etapa de secado



3. Balance de masa método B etapa de tamizado.



En el balance de masa en la etapa de obtención del gel se observa que el flujo de materia entrando al proceso (E1) corresponde a la masa de la maceta de aloe vera 3.78 kg, contabilizando en el proceso 1.66 kg de residuos (S1) correspondiente al lavado, cortado,

pelado y desecho de pencas en mal estado, obteniendo así la cantidad de 2.12 kg de gel de aloe vera (S2).

Los balances de masa permiten el cálculo del rendimiento del proceso, así como el rendimiento de una de las etapas que forman parte del proceso, este rendimiento es indispensable conocerlo ya que indica la cantidad de producto de interés que se obtiene a partir de la cantidad de materia prima que ingresa al proceso, esto permite analizar y tomar decisiones acerca de si el proceso o la etapa empleada es factible o no. Para la etapa de obtención del gel de aloe vera se calculó un rendimiento en basa a la cantidad de gel de aloe vera obtenido y la cantidad de materia prima, en este caso la maceta de aloe vera que entro a dicha etapa, ecuación 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento} &= \frac{\text{Cantidad de aloe vera obtenido}}{\text{Cantidad de aloe vera entrando al proceso}} & (1) \\
 \text{Rendimiento} &= \frac{2.12 \text{ kg de gel de aloe vera}}{3.78 \text{ kg de aloe vera}} \\
 \text{Rendimiento} &= \frac{0.56 \text{ kg de gel de aloe vera}}{\text{kg de aloe vera}}
 \end{aligned}$$

El rendimiento de la etapa de obtención del gel indica que por cada kg de aloe vera que se utilice se obtiene 0.56 kg de gel de aloe vera. Este rendimiento no es del todo factible debido a que el flujo de desechos (S1) que se obtuvo es aproximadamente el 50% del total de la cantidad de materia prima que entro a la etapa, indicando con ello que las etapas de lavado, cortado, pelado y el desecho de las pencas en mal estado influyó en el bajo rendimiento de la etapa de obtención del gel de aloe vera, a mayor cantidad de desecho, menor cantidad de producto de interés lo que significa un menor rendimiento.

Debido a que los desechos en la etapa de obtención del gel de aloe vera son de tipo orgánicos y su grado de contaminación es bajo, el fin o utilidad que se le dio fue utilizarlo como abono para las plantas.

En el balance de masa para la etapa de secado se dividió en 3 etapas: Secado 1, Secado 2 y Secado 3, esto debido a que se utilizaron 3 formas distintas para secar el gel obtenido. La etapa de secado 1 se realizó en la planta piloto de la Universidad de El Salvador utilizando una estufa de desecación por aire forzado, se observa en el balance de masa que en el flujo de desechos (S3) se registró un valor de 0.31 kg, esta cantidad corresponde a la cantidad de humedad que perdió el gel de aloe vera, sin embargo con el equipo utilizado el gel no estaba

en condiciones adecuadas para ser pulverizado ya que su contenido de humedad era muy alto aun cuando este fue sometido a horas de calentamiento como se indica en el apartado 2.3.2 etapa de secado. Por tal razón el balance de masa de la etapa del secado 2 corresponde al calentamiento del gel en un horno casero donde la cantidad del gel entrando a la etapa (E3) es de 1.81 kg, considerándose aún gel de aloe vera por su alto contenido de humedad. En esta etapa y como resultado del aumento de la temperatura se logró una mayor pérdida de humedad considerada como desecho (S5) y reflejada en el aspecto de la sábila (figura 2.13) que se tornó de color rosada, textura deshidratada y una evidente disminución del volumen de los trozos del aloe vera. A pesar de lo mencionado, el aloe vera no estaba en condiciones correctas para ser pulverizada. En el balance de masa de la etapa del secado 3 que corresponde al secado con luz solar se observa que el flujo de desechos recae en la pérdida de humedad (S7), en este caso de 0.55 kg, esto es el 75% de la cantidad de gel deshidratado que entro a la etapa (E4), por lo que en este punto el gel estaba totalmente seco, representándolo en su textura seca (figura 2.14), quebradiza, color café y lista para ser pulverizada. Sin embargo, la cantidad obtenida de gel seco (S8) luego de las 3 etapas de secado era muy poca en comparación a la ingresada al proceso (E2), lo que indica que el gel del aloe vera está conformado por un porcentaje alto de humedad.

Finalmente, en el balance de masa de la etapa de tamizado en la cual se tuvo por objetivo la eliminación de partículas de gran tamaño como resultado de la trituración, esto para evitar que dichas partículas quedaran suspendidas en el proceso del test de jarras, se contabilizaron 0.1817 kg de desechos (S9), obteniendo así una cantidad de producto de gel seco pulverizado de 0.0183 kg (S10).

Para evaluar lo factible del proceso se calcula un segundo rendimiento en donde se relaciona la cantidad del gel seco pulverizado obtenido (S10) y la cantidad de gel de aloe vera que entro al proceso, ecuación 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento} &= \frac{\text{Cantidad de aloe vera pulverizado}}{\text{Cantidad de gel de aloe vera entrando al proceso}} & (2) \\
 \text{Rendimiento} &= \frac{0.0183 \text{ kg de aloe vera pulverizado}}{2.12 \text{ kg de gel de aloe vera}} \\
 \text{Rendimiento} &= \frac{0.0086 \text{ kg de aloe vera pulverizado}}{\text{kg de gel de aloe vera}}
 \end{aligned}$$

El rendimiento obtenido indica que por cada kg de gel de aloe vera que se utilice se obtiene 0.0086 kg de aloe vera en polvo. Este rendimiento es sumamente bajo debido al porcentaje alto de humedad que contiene el gel y que se toma como una pérdida en el proceso ya que la finalidad del método B es tener el gel totalmente seco. Cuantificando las pérdidas por humedad se obtuvo un valor de 1.92 kg y 0.1817 kg de pérdidas en el proceso de tamizado, evidenciando un proceso no factible en cuestión de cantidades que participan en el proceso. En la tabla 3.4 se indica el total de corrientes que conforman el proceso de obtención del coagulante a partir del método A

**Tabla 3.4** Resumen de corrientes del balance de masa para el método B.

<b>Etapa</b>	<b>Corriente</b>	<b>Significado</b>	<b>Valor (kg)</b>
<b>Obtención del gel</b>	E1	Entrada de la maceta de Aloe vera como materia prima	3.78
	S1	Desechos (cáscaras, tronco, pencas en mal estado, tierra)	1.66
	S2	Gel de aloe vera obtenido	2.12
<b>Secado</b>	E2	Gel de aloe vera que entra al secado 1	2.12
	S3	Humedad extraída al gel de aloe vera en el secado 1	0.31
	S4	Gel de aloe vera que sale del secado 1	1.81
	E3	Gel de aloe vera que entrada al secado 2	1.81
	S5	Humedad extraída al gel de aloe vera en el secado 2	1.06
	S6	Gel de aloe vera deshidratado que sale del secado 2	0.75
	E4	Gel de aloe vera deshidratado que entra al secado 3	0.75
	S7	Humedad extraída al gel de aloe vera en el secado 3	0.55
<b>Tamizado</b>	S8	Gel de aloe vera seco que sale del secado 3	0.20
	E5	Gel de aloe vera seco y pulverizado	0.20
	S9	Desecho (eliminación de partículas de gran tamaño)	0.1817
	S10	Gel del aloe vera pulverizado y tamizado	0.0183

### 3.3 Análisis de resultados de parámetros de estudio.

En esta sección se evaluarán los parámetros en estudio Turbidez, DBO<sub>5</sub>, pH y Temperatura, teniendo presente los resultados obtenidos durante el desarrollo experimental detallados en los apartados 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3. Recalcar que, debido a el corto período de tiempo para

realizar el desarrollo experimental en las instalaciones de la planta piloto de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, se definió un porcentaje de remoción estimado para la reducción de los parámetros en estudio; siendo este del 95%.

$$\% \text{ Remoción esperado} = 95\%$$

### 3.3.1 Análisis de resultados de turbidez

El análisis de resultados del parámetro turbidez se realiza para ambos métodos por lo que se tiene:

#### 1. MÉTODO A

Para determinar la concentración de la solución coagulante que disminuyera la turbidez y alcanzara el porcentaje de remoción esperado, se realizaron 12 tratamientos, a los cuales se les calculó la fracción de remoción y el porcentaje de remoción.

El cálculo de estos porcentajes se realizó por medio de la ecuación 3:

$$\% \text{ Remoción obtenido} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} \times 100\% \quad (3)$$

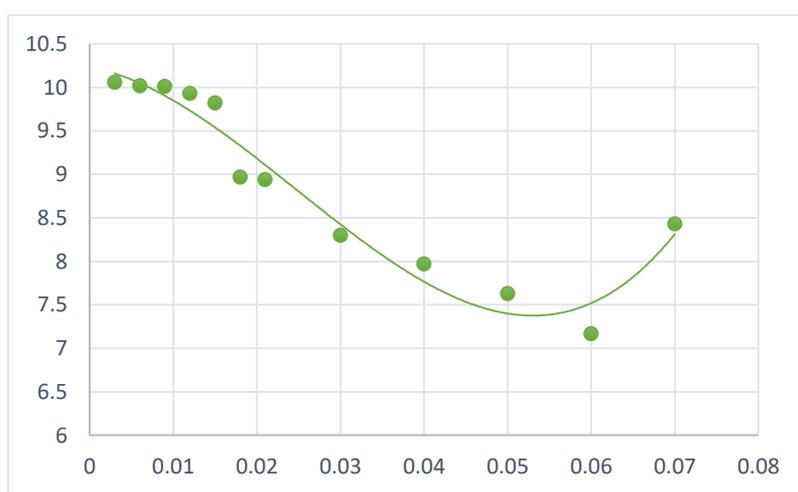
Los resultados se presentan en la Tabla 3.5:

**Tabla 3.5** Porcentaje de remoción del parámetro turbidez método A.

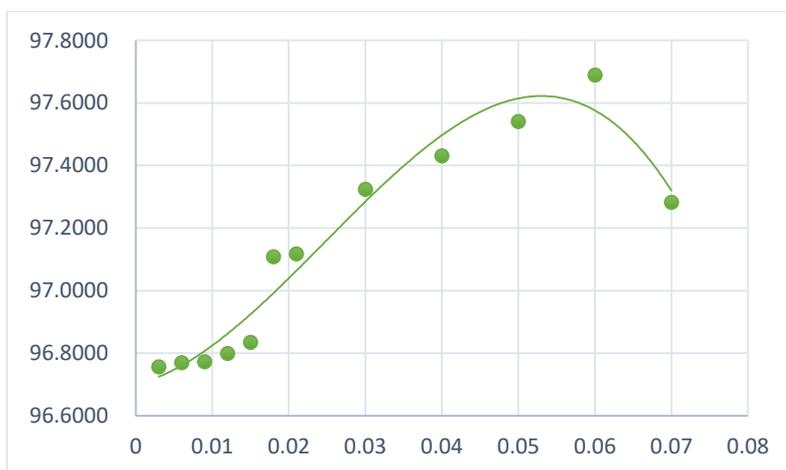
Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Turbidez final (NTU)	Fracción de Remoción	%Remoción
T1	0.003	10.06	0.96756931	96.756931
T2	0.006	10.02	0.96769826	96.7698259
T3	0.009	10.01	0.9677305	96.7730496
T4	0.012	9.93	0.96798839	96.7988395
T5	0.015	9.82	0.968343	96.8343005
T6	0.018	8.97	0.97108317	97.1083172
T7	0.021	8.94	0.97117988	97.1179884
T8	0.03	8.3	0.97324307	97.3243069
T9	0.04	7.97	0.9743069	97.4306899
T10	0.05	7.63	0.97540297	97.5402966
T11	0.06	7.17	0.97688588	97.688588
T12	0.07	8.43	0.97282398	97.2823985

De la Tabla 3.5 se observa que se tienen muy buenos resultados en cuanto a la reducción de la turbidez del agua residual sintética, los valores de estos porcentajes se encuentran arriba del valor del porcentaje de remoción esperado; indicando que este método ha sido efectivo para la reducción del parámetro turbidez.

En la figura 3.2 se presenta un gráfico que muestra el comportamiento de la turbidez obtenida después del tratamiento a diferentes valores de concentración de solución coagulante, mientras que el gráfico de la figura 3.3 se detalla el porcentaje de remoción alcanzado a diferentes concentraciones.



**Figura 3.2** Gráfico turbidez vrs concentración solución coagulante método A.



**Figura 3.3** Gráfico porcentaje de remoción obtenido vrs concentración solución coagulante método A.

Se observa que el tratamiento 11 que corresponde a una concentración de solución coagulante de 0.06 g/mL pertenece al porcentaje con mayor remoción que se obtuvo para este método, con un valor de 97.68%.

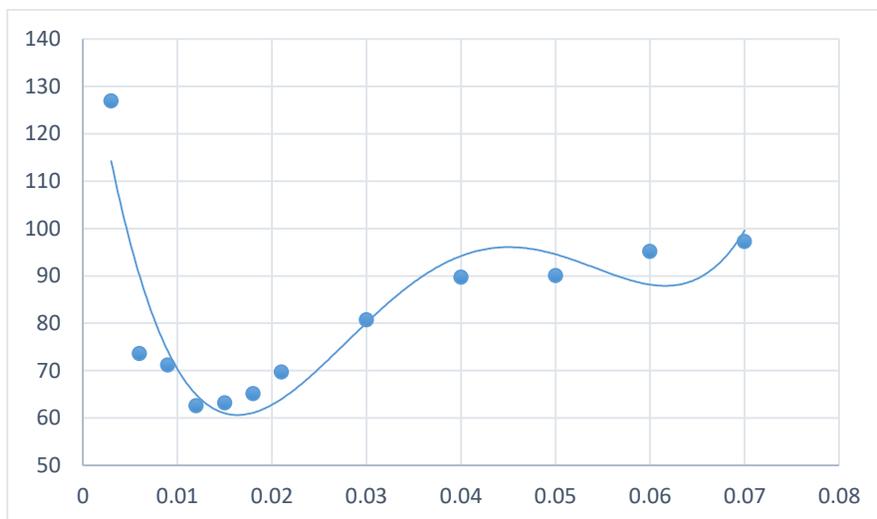
## 2. MÉTODO B

De forma similar y haciendo uso de la ecuación 3 se calculó el porcentaje y fracción de remoción para la turbidez final en el método B, dando como resultado los valores detallados en la Tabla 3.6.

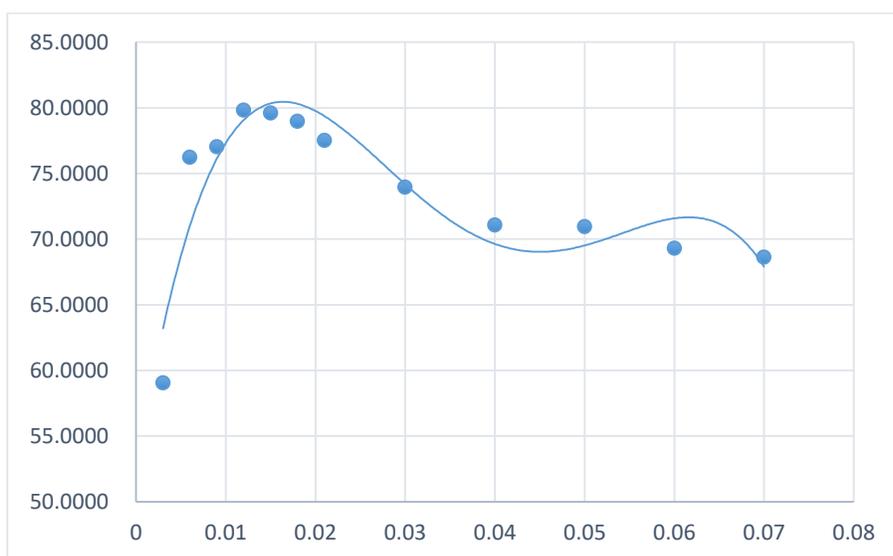
**Tabla 3.6** *Porcentaje de remoción del parámetro turbidez método B.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Concentración de solución coagulante (g/mL)</b>	<b>Turbidez final (NTU)</b>	<b>Fracción de Remoción</b>	<b>%Remoción</b>
T1	0.003	127	0.59058672	59.0586718
T2	0.006	73.68	0.76247582	76.2475822
T3	0.009	71.2	0.77047066	77.0470664
T4	0.012	62.6	0.79819471	79.8194713
T5	0.015	63.27	0.79603482	79.6034816
T6	0.018	65.2	0.78981302	78.9813024
T7	0.021	69.76	0.77511283	77.511283
T8	0.03	80.75	0.73968407	73.9684075
T9	0.04	89.75	0.71067054	71.0670535
T10	0.05	90.11	0.70950999	70.9509994
T11	0.06	95.2	0.69310123	69.3101225
T12	0.07	97.3	0.6863314	68.6331399

El gráfico de la figura 3.4 muestra el comportamiento de la turbidez obtenida después del tratamiento a diferentes valores de concentración de solución coagulante, mientras que el gráfico de la figura 3.5 detalla el porcentaje de remoción alcanzado a diferentes concentraciones.



**Figura 3.4** Gráfico turbidez vrs concentración solución coagulante método B.



**Figura 3.5** Gráfico porcentaje de remoción obtenido vrs concentración solución coagulante método B.

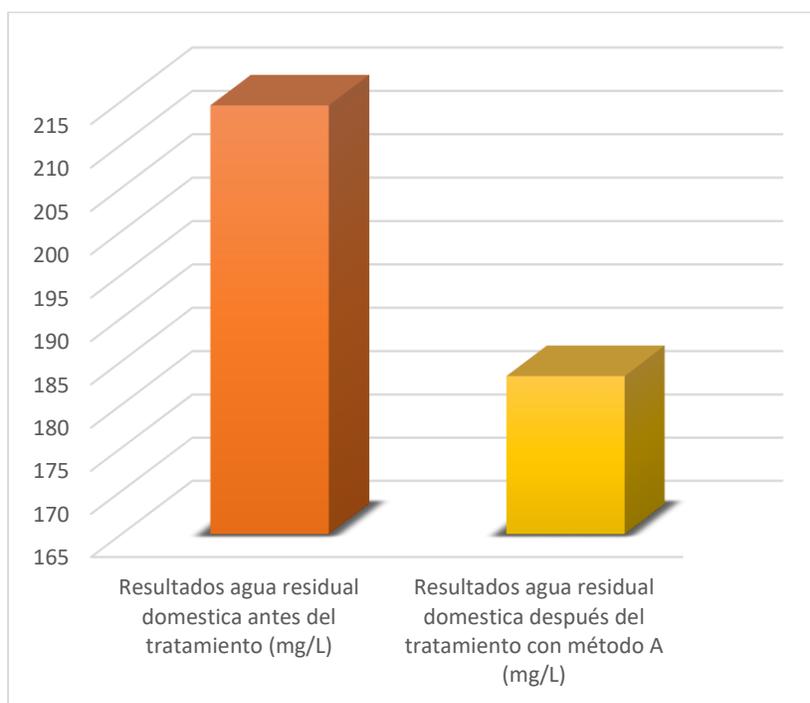
Se percibe que, para los doce tratamientos realizados, en ninguno se alcanzó el porcentaje de remoción esperado para este método, sin embargo, el tratamiento T4 que corresponde a una concentración de solución coagulante de 0.012 (g/mL), logro remover al 79.82 % el valor de turbidez, siendo este el mayor porcentaje de remoción alcanzado para el método B.

### 3.3.2 Análisis de resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

Los resultados obtenidos para este parámetro fueron a través de la caracterización fisicoquímica proporcionada por el laboratorio externo LECC. Se determina el porcentaje de remoción obtenido para el método A los cuales se presentan en la tabla 3.7 y figura 3.6:

**Tabla 3.7** Porcentaje de remoción obtenido de DBO<sub>5</sub> método A.

Determinación	Resultados agua residual doméstica antes del tratamiento (mg/L)	Resultados agua residual doméstica después del tratamiento con método A (mg/L)	%Remoción alcanzado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	214.5	183.3	14.55



**Figura 3.6** Gráfico comparativo DBO<sub>5</sub> del agua residual antes y después del tratamiento con el método A.

De acuerdo con el gráfico de la figura 3.6 y la tabla 3.7 se observa que el parámetro DBO<sub>5</sub> ha disminuido en un 14.55% con respecto a su valor inicial, por lo que se puede interpretar que la solución de material coagulante natural elaborado por el método A disminuye la demanda bioquímica de oxígeno, sin embargo, no se logra obtener el porcentaje de remoción deseado del 95%.

### 3.3.3 Análisis de resultados de pH

En la tabla 3.8 se muestran los resultados obtenidos a partir de la medición de pH de cada una de las soluciones coagulantes, esto realizado posterior a la prueba de jarras, tanto para el método A como para el método B.

**Tabla 3.8** Resultados de pH método A y B.

Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	pH obtenido en método A	pH obtenido en método B
T1	0.003	7.05	7.11
T2	0.006	7.11	6.7
T3	0.009	7.12	6.5
T4	0.012	7.1	6.62
T5	0.015	7.1	6.5
T6	0.018	7.11	6.08
T7	0.021	7.39	6.1
T8	0.03	7.11	6.7
T9	0.04	7.3	6.65
T10	0.05	7.2	6.75
T11	0.06	6.52	6.82
T12	0.07	7.5	6.95

Es importante mencionar que el agua residual sintética que se formuló en el desarrollo experimental presento un pH de 6.87, esto permitió que se pudiera utilizar directamente sin requerir una regulación en el pH.

Como se puede observar, el pH se logró mantener para ambos métodos, para el método A predomino un pH de 7 mientras que para el método B hubo mayor tendencia a presentar un pH de 6. Es decir, independientemente del método que se utilizó el pH se mantiene en un rango entre 6 y 7, el cual de acuerdo a (MORALES OSORIO, 2018) es el adecuado para que el aloe vera pudiera efectuar un grado de coagulación aceptable.

### 3.3.4 Análisis de resultados de temperatura

La tabla 3.9 muestra los resultados obtenidos a partir de la medición de temperatura de cada una de las soluciones coagulantes, esto realizado posterior a la prueba de jarras, tanto para el método A como para el método B.

**Tabla 3.9** Resultados de temperatura método A y B.

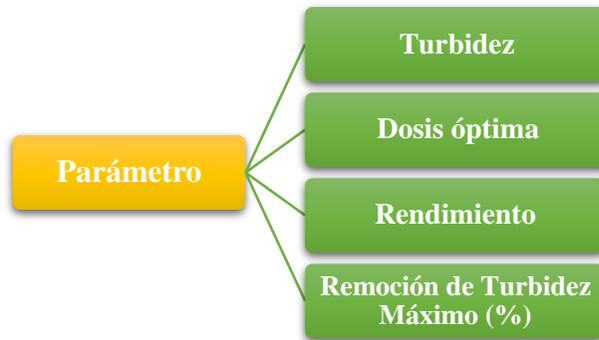
Tratamiento	Concentración de solución coagulante (g/mL)	Temperatura (°C) obtenido método A	Temperatura (°C) obtenido método B
T1	0.003	28	28
T2	0.006	28	27
T3	0.009	27	28
T4	0.012	26	28
T5	0.015	27	26
T6	0.018	28	27
T7	0.021	28	28
T8	0.03	26	28
T9	0.04	27	26
T10	0.05	28	27
T11	0.06	26	28
T12	0.07	28	28

Al igual que el pH, la temperatura no tuvo cambios significativos ya que esta se logró mantener en un rango entre 26 y 28 grados centígrados. Dicho rango abarca también la temperatura inicial del agua residual doméstica utilizada en el desarrollo experimental.

Es decir que gracias a que la temperatura se logró mantener, no se tuvieron problemas que la bibliografía consultada presentaba, como podía ser que las altas temperaturas desfavorecen a la coagulación o efectos en la energía cinética de las partículas en suspensión.

### **3.4 Selección del método óptimo**

En esta sección se analizará tanto al método A como al método B para determinar cuál fue el que generó los mejores resultados y seleccionar el más óptimo para el uso de aloe vera como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstica. Para ello se compararán ciertos parámetros obtenidos tanto experimentalmente como por medio de cálculos efectuados en las secciones anteriores, los cuales se presentan en la figura 3.7.



**Figura 3.7** Parámetros para selección del método óptimo.

El primer parámetro que se tomara para la comparación es el rendimiento, el cual relaciona la cantidad obtenida del producto de interés para la elaboración de las soluciones coagulantes y la cantidad de materia prima suministrada para cada uno de los métodos. Cabe recordar que el producto de interés para el método A era el gel de aloe vera ya que este se utilizaba directamente para la formulación de las soluciones coagulantes, mientras que para el método B el producto de interés fue la cantidad de gel seco obtenido al final de su realización.

De los resultados en la tabla 3.10, se observa que el rendimiento obtenido es mayor en el método B que en el método A, esto se debe principalmente a que en el método B se utilizó toda la cantidad de gel que se obtuvo al pelar todas las pencas el cual fue llevado a procesos como el secado para obtención del gel seco utilizado para la formulación de las soluciones coagulantes. Es decir, que, si en el método A se hubiera utilizado una menor cantidad de gel suministrado para la formulación de las soluciones coagulantes, es evidente que el rendimiento de dicho método fuese mayor que el método B, además de no haber perdido en el proceso la cantidad de gel que no se logró utilizar.

**Tabla 3.10** Comparación de rendimientos del método A y B.

Parámetro	Método A	Método B
Rendimiento	0.0024	0.0086

Como segundo parámetro comparativo se tiene la dosis óptima, la cual permite evaluar la cantidad exacta que se obtuvo de manera experimental que ayudo a disminuir en un punto minino uno de los parámetros de interés de la presente investigación, la turbidez. Como se observa en la tabla 3.11, se tiene nuevamente que el método B dio mejor resultado, ya que se utilizó una menor cantidad de producto para llegar al punto mínimo de disminución de

turbidez para dicho método, pero que se necesite menos producto en dicho método no quiere decir que sea el que dio mejores resultados en la disminución de la turbidez, en cambio el método A aunque se utilizó una cantidad más grande de producto fue capaz de una mejor disminución de la turbidez el cual se verá en los siguientes parámetros.

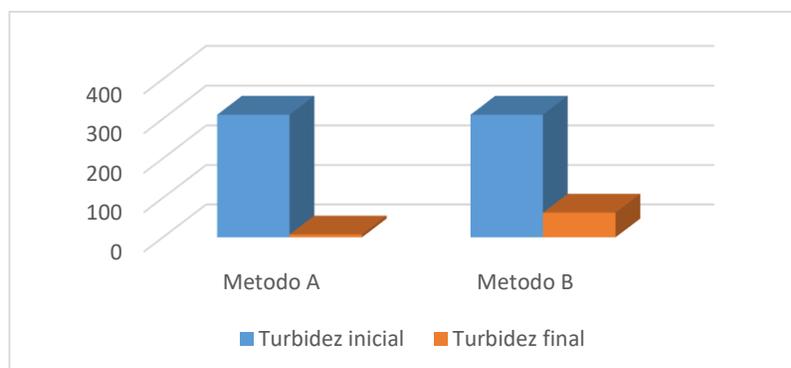
**Tabla 3.11** Comparación de dosis óptima del método A y B.

Parámetro	Método A	Método B
Dosis Óptima (g/mL)	0.06	0.012

Se presenta la comparación de la turbidez mínima alcanzada por ambos métodos, además del porcentaje de remoción máxima de turbidez. Como se observa en la tabla 3.12, aunque se utilizó una mayor cantidad de producto para llegar a la dosis óptima, el método A brinda mejores resultados para la disminución del parámetro de interés turbidez, el cual es uno de los objetivos primordiales en la presente investigación. El método B también funcionó para la disminución de la misma, pero es evidente que el método A dio mejores resultados debido a una mayor disminución, llegando a un punto mínimo de 7.17 NTU y alcanzando una remoción máxima de turbidez de 97.6886%.

**Tabla 3.12** Comparación de porcentaje de remoción de turbidez máximo del método A y B.

Parámetro	Turbidez inicial	Método A	Método B
Turbidez (NTU)	310.20	7.17	62.6
Remoción de Turbidez Máximo (%)	0.00	97.6886	79.8195



**Figura 3.8** Selección del método óptimo.

Por lo que, habiendo explicado y comparado todos los datos obtenidos a partir de ambos métodos, se puede concluir que el método A da mejores resultados en cuanto a disminución de turbidez, llegando a un porcentaje mayor en su remoción. Se tendrá un mayor rendimiento en el proceso si se utiliza como suministro las cantidades necesarias para la formulación de las soluciones coagulantes, además que el método B requiere de muchas más etapas comparado a las que se tienen en el método A, lo cual puede llegar a elevar costos a la hora de realizar ambos métodos, por lo que el método A es el más óptimo para la obtención de un coagulante natural a partir de aloe vera para ser aplicado en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas y ayudar a la disminución de parámetros como turbidez y DBO<sub>5</sub>.

### 3.5 Análisis de los resultados del agua residual doméstica tratada.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las tablas 2.29 y 2.30 se compara el cumplimiento de las normativas salvadoreñas del agua residual doméstica tratada con el método A en el que se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a la reducción de los parámetros de interés.

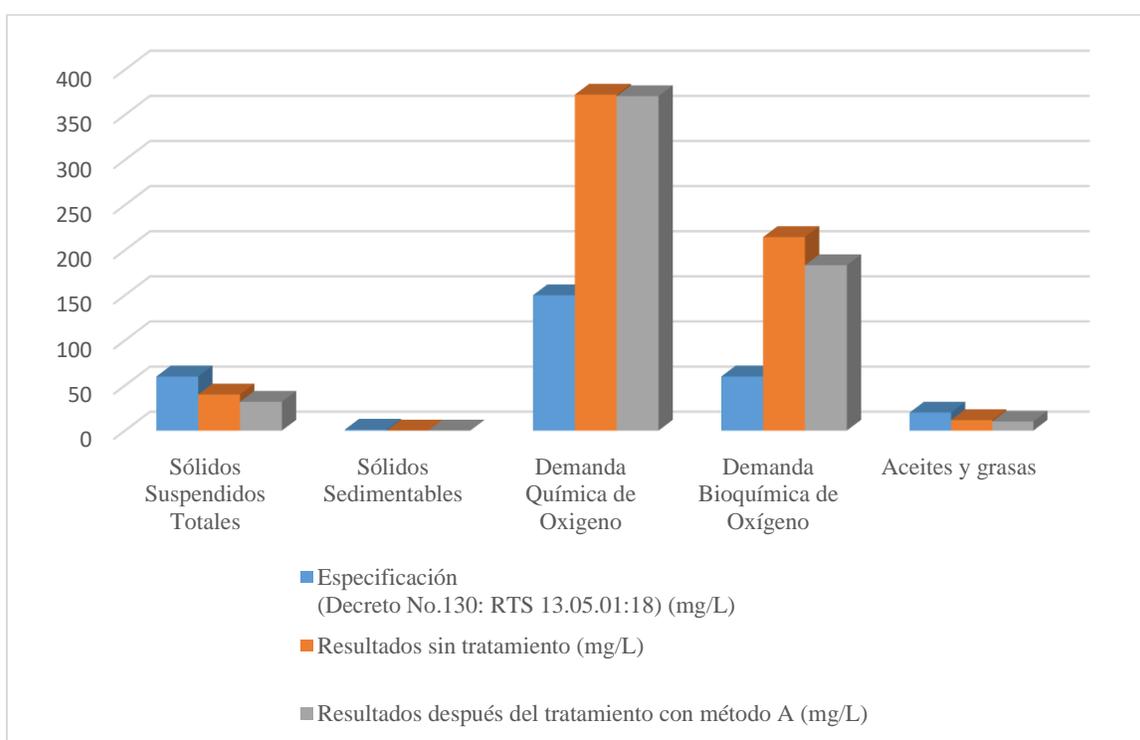
La primera normativa para aguas residuales de tipo ordinario con la que se compara es el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18, calculándose la diferencia con respecto a los límites permisibles que presenta dicha norma, resumiéndose estos cálculos en la Tabla 3.13:

**Tabla 3.13** Comparación del agua residual doméstica después del tratamiento con método A contra los límites máximos permisibles de acuerdo con el RTS 13.05.01.18.

Determinación	Especificación (Decreto No.130: RTS 13.05.01:18)	Resultados después del tratamiento con método A	Diferencia
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	LMP: 60 mg/L	32.0 mg/L	-28
Sólidos Sedimentables (SS)	LMP: 1 mg/L	Menor a 0.1mL/L	-0.9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	LMP: 150 mg/L	370.6 mg/L	+220.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO <sub>5</sub> )	LMP: 60 mg/L	183.3 mg/L	+123.3
Aceites y grasas	LMP: 20 mg/L	10.1 mg/L	-9.9

Una diferencia positiva significa que el resultado se encuentra sobre el límite máximo permisible del RTS, como lo es el caso de la DQO y DBO<sub>5</sub>. No obstante, una diferencia negativa indica que el resultado del agua tratada se encuentra por debajo del límite máximo permisible.

En el gráfico de la figura 3.9 puede apreciarse una comparativa de los resultados obtenidos utilizando el coagulante natural de Aloe Vera preparado por el Método A con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 “AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES”.



**Figura 3.9** Comparación de resultados obtenidos del agua residual doméstica tratada con el método A contra la especificación del RTS 13.05.01.18.

Conforme a los resultados obtenidos se determina que el agua tratada con el coagulante natural a partir del Aloe Vera preparado por el método A no cumple con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18, debido a que el valor de DBO<sub>5</sub> y DQO se encuentran fuera de los valores límites permisibles, por lo que esta agua no podría ser descargada en un cuerpo receptor.

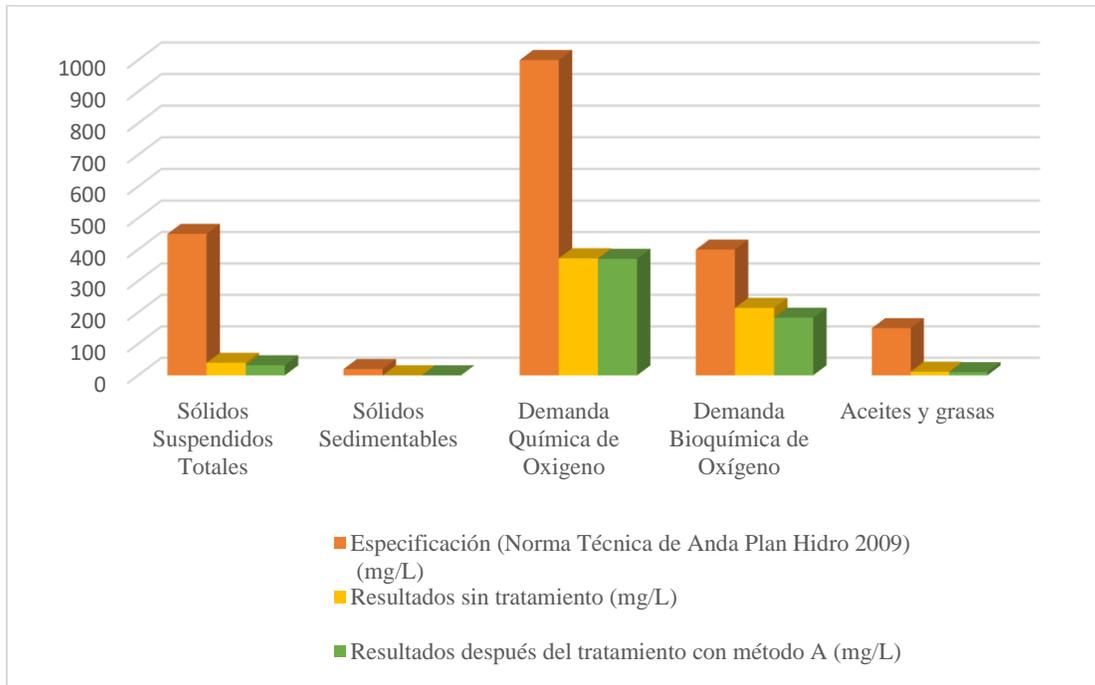
La segunda normativa con la que se comparan los resultados obtenidos es la NORMA TECNICA DE ANDA PLAN HIDRO 2009, que de igual manera se calcula la diferencia con respecto a los límites permisibles que decreta esta norma, resumiéndose los cálculos en la tabla 3.14:

**Tabla 3.14** Comparación del agua residual doméstica después del tratamiento con método A contra los límites máximos permisibles de acuerdo con la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009.

Determinación	Especificación (Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009)	Resultados después del tratamiento con método A	Diferencia
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	LMP: 450 mg/L	32.0 mg/L	-418
Sólidos Sedimentables (SS)	LMP: 20mg/L	Menor a 0.1mL/L	-19.9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	LMP: 1000 mg/L	370.6 mg/L	-629.4
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO <sub>5</sub> )	LMP: 400mg/L	183.3 mg/L	-216.7
Aceites y grasas	LMP: 150 mg/L	10.1 mg/L	-139.9

Una diferencia positiva significa que el resultado se encuentra sobre el límite máximo permisible de la Norma Técnica de ANDA; mientras que una diferencia negativa indica que el resultado del agua tratada se encuentra por debajo del límite máximo permisible. En la tabla 3.14 se observa que para esta norma todos los valores numéricos de los parámetros se encuentran por debajo del límite máximo permisible.

Dichos resultados pueden visualizarse descriptivamente auxiliándose del gráfico de la figura 3.10 que muestra la comparativa en los resultados obtenidos utilizando el coagulante natural de aloe vera preparado por el Método A versus los límites máximos permisibles indicados por la Norma Técnica de ANDA.



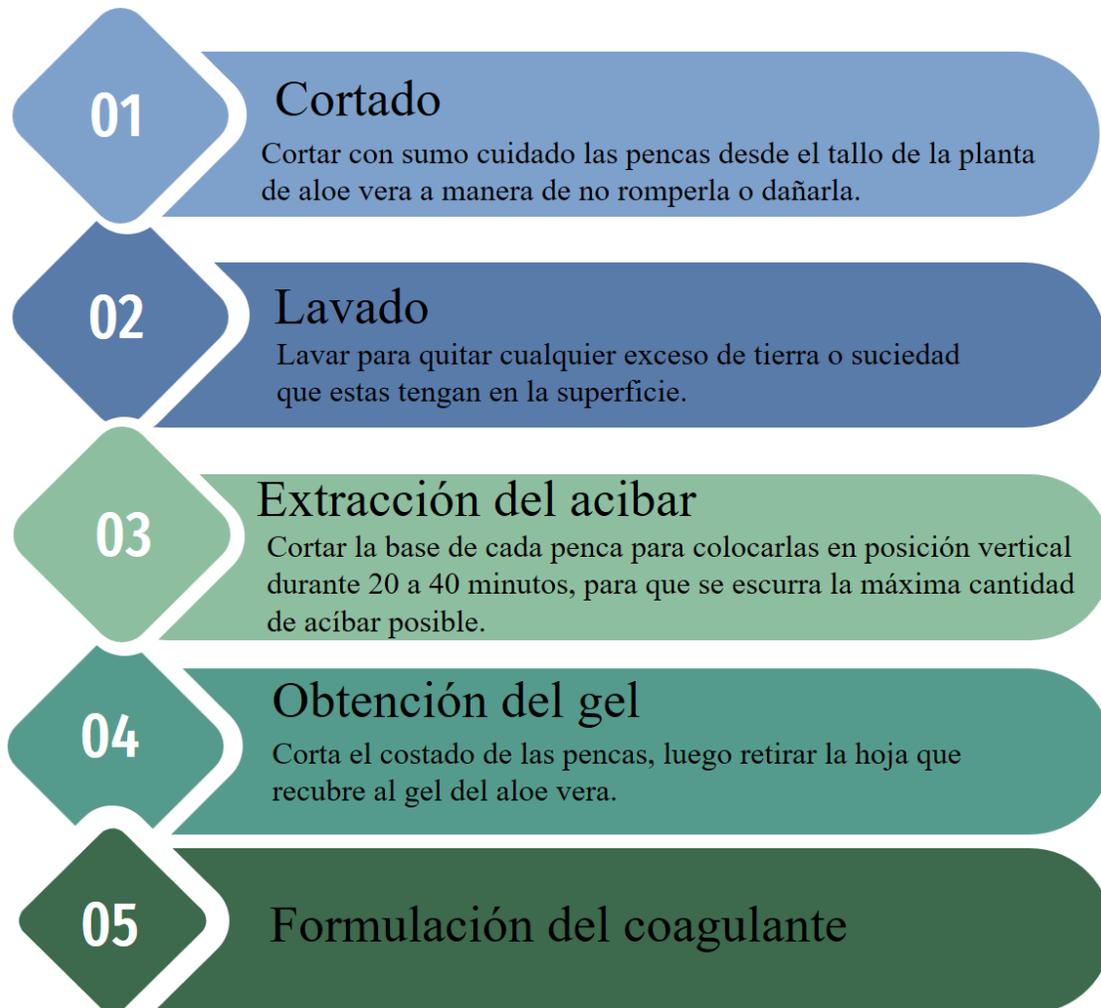
**Figura 3.10** Comparación de resultados obtenidos del agua residual doméstica tratada con el método A contra la especificación de la Norma Técnica de ANDA Plan Hidro 2009.

Se concluye que, de acuerdo a los resultados obtenidos, el agua tratada con el coagulante natural a partir del Aloe Vera preparado por el método A cumple con la NORMA TECNICA DE ANDA PLAN HIDRO 2009 debido a que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, por lo que esta agua podría ser descargada en el sistema de Alcantarillado.

### 3.6 Diseño de proceso del método óptimo para disminución de los parámetros turbidez y DBO<sub>5</sub> en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas.

En el apartado 3.4 se concluyó que el método óptimo para disminuir los parámetros turbidez y DBO<sub>5</sub> del agua residual doméstica es aplicando el método A o mejor conocido como el método del macerado, este ha sido seleccionado gracias al análisis de los resultados favorables y descritos en el apartado 3.4. Indicar que al inicio de este trabajo de investigación López Aranda, Canché-Uuh J. A, Guevara-Franco J. L, y Oropeza-García N, 2017 proponían un proceso de 3 etapas para la extracción del coagulante de aloe vera, sin embargo, en el desarrollo experimental se realizaron ciertas modificaciones a dicho proceso. En la figura 3.11 se expone el diseño de proceso del método óptimo con el cual se ha obtenido una

disminución de los parámetros turbidez y DBO<sub>5</sub> en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas.



**Figura 3.11** Diseño de proceso del método óptimo para disminución de parámetros turbidez y DBO<sub>5</sub> en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas.

## CONCLUSIONES

1. En las pruebas realizadas utilizando el coagulante natural a partir de Aloe Vera (*Barbadensis Miller*), se logró remover hasta un 14.55 % de DBO<sub>5</sub>, utilizando el método A bajo los parámetros óptimos de operación, pH de 6.62 y dosis 0.06mg/L de solución coagulante a 150 rpm la agitación rápida y 30 rpm de agitación lenta.
2. Los resultados de dosis óptima obtenidos son: 0.06 g/mL para el método A y 0.012 g/mL para el método B. Esto indica que se requiere menor cantidad de coagulante obtenido por el método B que el obtenido por el método A, aunque sus resultados de remoción de turbidez sean menores.
3. Los resultados obtenidos mediante el uso del coagulante preparado por el método A muestran una mayor disminución en los parámetros turbidez y DBO<sub>5</sub> comparado al método B, por lo que se puede predecir que los procesos adicionales del método B como la etapa del secado del gel de aloe vera influyen en sus propiedades y su poder coagulante.
4. En las pruebas realizadas utilizando los coagulantes generados por ambos métodos se obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez máximos de 97.69% para el método A y 79.82% para el método B, seleccionándose como método óptimo al método A el cual brindo resultados significativos en la disminución de parámetros de estudio llegando a valores de 7.17 NTU en turbidez y 183.3 g/mL en DBO<sub>5</sub>.
5. El método B requirió 3 etapas de secado diferentes debido al alto contenido de humedad del gel de aloe vera, además de las complicaciones para llegar hasta la textura adecuada para la obtención del gel seco capaz de ser triturado.
6. Se obtuvo un resultado final de turbidez de 7.17 NTU y 183.3 g/mL para DBO<sub>5</sub>, por lo tanto, se determina que el agua residual doméstica tratada por medio del coagulante obtenido en el método A podría ser depositada en un alcantarillado, pero no depositada en un cuerpo receptor.
7. El rendimiento del método B es de  $\frac{0.0086 \text{ kg de aloe vera pulverizado}}{\text{kg de gel de aloe vera}}$  siendo mayor que el rendimiento del método A  $\frac{0.0024 \text{ kg de gel de aloe a utilizar}}{\text{kg de gel de aloe vera}}$ , esto se debe a que en el método B se utilizó toda la cantidad de gel de aloe vera, aunque en las etapas de secado y tamizado se haya perdido la mayor cantidad, por el contrario en el método A, solo se utilizó una

cantidad en específico para realizar las soluciones coagulantes y el sobrante de gel se contabiliza como un desperdicio disminuyendo de esta manera el rendimiento.

8. El tiempo máximo de utilización de la solución del material coagulante de ambos métodos es máximo 24 horas, el aumento del tiempo puede afectar la efectividad del material coagulante debida a su rápida oxidación.
9. El uso del Aloe Vera no conlleva ningún impacto negativo en el medio ambiente, esto se debe a sus componentes meramente orgánicos, por el contrario, el 100% de la planta se puede utilizar para obtener diferentes beneficios desde el gel hasta las cáscaras.
10. Es necesario tener precaución con la dosis de las soluciones coagulantes agregadas al agua residual doméstica ya que si se excede de la dosis óptima se da un efecto contraproducente que consiste en un aumento de la turbidez por la sobresaturación del material coagulante.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar otras técnicas de deshidratación de gel de Aloe Vera tales como: la liofilización, de acuerdo al método B, utilizando equipos especializados para este proceso.
2. Evaluar condiciones climáticas para la obtención del coagulante de Aloe Vera seco.
3. Someter a evaluación el coagulante elaborado a base de Aloe Vera variando las demás condiciones de operación en la simulación del proceso de coagulación-floculación como tiempo de agitación, velocidad de agitación rápida y lenta, con el propósito de obtener mejores resultados en la disminución de los parámetros estudiados.
4. Realizar una propuesta de gestión para los residuos y desechos generados en el proceso productivo del coagulante natural de Aloe Vera.
5. Llevar a cabo investigaciones en las que se evalúe el uso del coagulante a base de Aloe Vera en aguas residuales de tipo especial.
6. Evaluar en futuras investigaciones la cuantificación y disposición de los lodos generados en el agua residual tratada con el coagulante natural de aloe vera.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aburrá, Á. M. (2019). *Analisis del ciclo de vida*. Obtenido de <https://n9.cl/w4yz0>
- Amaya , W., Cañón , Ó., y Avilés, Ó. (2004 ). *Control de pH para planta de aguas residuales* . Nueva Granada, Colombia .
- Andalucia, J. (2021). *CEIP Manuel Siurot*. Obtenido de <https://n9.cl/cxxkq>
- Andía Cardenas, Y. (2009). *Tratamiento de Agua, Coagulación floculación*. SEDAPAL Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico., Lima.
- Arapack. (21 de Diciembre de 2015). *Arapack*. Obtenido de <https://n9.cl/65jn2>
- Asamblea Legislativa . (1993 ). *Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, El Salvador*.
- Asamblea Legislativa . (2021 ). *Ley General de Recursos Hídricos, El Salvador*.
- Asocialoe. (28 de Octubre de 2019). *El aloe vera desde los egipcios hasta nuestros días* . Obtenido de <https://n9.cl/xutlq>
- Barajas Suárez, Y. P., y Vera Morales, F. A. (2020). *Diseño del plan de manejo ambiental para la planta de procesamiento de aloe vera Bioanbay SAS, ubicada en la vereda San miguel, municipio de Piedecuesta, Santander*. Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta Y a Distancia- UNAD , Piedecuesta- Santander.
- Barrenechea Martel, A. (2009). *COAGULACIÓN*. Obtenido de <https://n9.cl/jq9vl>
- Bloque Popular Juvenil. (19 de septiembre de 2021). Los sindicatos en El Salvador ¿Al servicio de quién? *Bloque Popular Juvenil*.
- Canjura Astorga , K., y Lemus , Z. (2003 ). *Propuesta de un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes de lavaderos públicos del Municipio de Nejapa* . San Salvador : Universidad de El Salvador .
- Cardenas, J. (7 de enero de 2021). *Trabajo energia y potencia*. Obtenido de <https://n9.cl/g7fge>
- CARDONA, P. A. (2018). *HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE*. Bogota.
- Carlos Augusto Benjumea-Hoyos, M. T. (2021). Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización. *Bionatura*, 8.
- Castañeda, A., y Flores , H. (2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas necrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*.
- Cavidad, G. A. (2015). Diseño de envases para usuarios de la tercera edad. *Iconofacto*, 15.
- Chavesta Saavedra, M. F., y Velásquez Peña, J. S. (2020). *Remoción de DBO5 y turbiedad de las aguas residuales domésticas aplicando Aloe vera*. UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN, Tarapoto.
- Ciencia. (Abril de 2021). *Leyes de Newton*. Obtenido de <https://n9.cl/ge8ml>
- Cifuentes , O. (2007). *Curso de Ingeniería sanitaria; anexo IX: Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales* .

- COAMSS. (2009). *Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños*. Asamblea Legislativa, El Salvador.
- Código de Salud . (1988). . *Decreto Nº 955. Asamblea Legislativa de El Salvador*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, El Salvador.
- Collazos, C. (2008 ). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES* . Colombia.
- Collins, C.E. & Collins, C. (1935) Roentgen Dermatitis Treated with Fresh Whole Leaf of Aloe vera. *American Journal of Roentgen*, 33, 396-397.
- Decreto Nº 42. (2000 ). *REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE EL MANEJO INTEGRAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.
- Decreto Nº 527. (2020). *Ley de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje* . Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.
- Decreto-No.153. (1990). *Ley de Riego y Avenamiento.El Salvador: Órgano Legislativo*
- Decreto-No.17. (2000 ). *Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente* . Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales , El Salvador.
- Decreto-No.29. (2019). *Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales*. Asamblea Legislativa de la Republica de El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.
- Decreto-No.40. (2018 ). *Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental* . Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.
- Decreto-No.50. (1989 ). *Reglamento sobre la Calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección* . Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de la República de El Salvador, El Salvador
- Diestra Ramos, F. S., y Ramos Paredes, I. V. (2019). *Efecto de la concentración de Aloe vera (Sábila) y tiempo de floculación en la remoción de Sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de aguas residuales municipales sector el Cerrillo, Santiago de Chuco*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química, Perú.
- Dominguez-Fernandez, R. (2011). El gel de aloe vera: estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21.
- Eddy, . H., y Metcalf , L. (2003). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, eliminación y reutilización* .
- Eriksson , E., Auffarth , K., Henze , M., & Ledin , A. (2002). Characteristics of grey wastewater . *UrbanWater* .
- euofins. (21 de Abril de 2021). *Análisis de Ciclo de Vida (ACV): qué es y para qué sirve*. Obtenido de <https://n9.cl/rq6s1>
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2004). *AGUA • AGUAS RESIDUALES • DEFINICIONES*. Recuperado el 07 de Mayo de 2022, de COAGULACION Y FLOCULACION: DEFINICION, TIPOS Y FACTORES: <https://n9.cl/kqzsv>
- Foundation, I. S. (Abril de 2022). *Science Bits*. Obtenido de <https://n9.cl/c4eor>

- Gehrels, N. (2020). *La primera ley de Newton: Ley de la Inercia*.
- Giron, M. A. (2000). *Introducción a la química orgánica*. Monterrey : Adventure Works.
- Gómez Puentes , N. (2005 ). *Remoción de Materia Orgánica por Coagulación-Floculación* . Manizales : Universidad Nacional de Colombia .
- Gorriti, N. (2016). Envases que transportan al consumidor. *Canales Sectoriales*, 5.
- Hidalgo, U. a. (2017). *El Microscopio: Equipo fundamental en el Laboratorio de Biología*. Obtenido de <https://n9.cl/4ltp0>
- Hurtado Pérez, A. M. (2019). *Polisacáridos del gel de Aloe vera L. como floculante en tratamiento de aguas*. UNSAAC.
- iagua. (2013). *Los humedales artificiales*. Obtenido de <https://n9.cl/6qyp>
- inca. (2020). Impacto de filtros verdes sobre la emisión de los gases de. *Cultivos Tropicales*, 13.
- Ing. Marilin García-Díaz, M. J.-H.-T. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química*, 8.
- Kadlec , R., & Knight , R. (1996 ). *Treatment Wetlands*. Florida : Lewis Publishers.
- Lanzaloe. (2019). Extracción y estabilización en frío del jugo de Aloe vera. *BioTech*, 2.
- Ley de Medio Ambiente . (1998 ). *Decreto No. 233 Asamblea Legislativa de la República de El Salvador*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.
- López Aranda, M., Canché-Uuh J. A, Guevara-Franco J. L, y Oropeza-García N. (2017). REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ EN MUESTRAS SINTÉTICAS MEDIANTE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y FILTRACIÓN UTILIZANDO MATERIALES NATURALES. *XII congreso Regional para Norteamérica y el Caribe, Primer Simposio Interamericano de AIDIS Joven y Primer Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores en Evaluación de Tecnología Ambiental, EJITA, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*, (págs. 1-5). Mexico.
- Lozano, D. I. (2015). *Práctica #18: Biomoléculas*. Monterrey.
- Lozano, V. H. (2012). *Práctica de laboratorio de química*.
- Maga, L. C., y a. (10 de Enero de 2022). *Compuestos inorgánicos*. Obtenido de <https://n9.cl/g4wny>
- MARN . (2021 ). *Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan la alternativa de reúso de agua residual tratada*, El Salvador.
- MARN. (2016 ). *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador: Estrategia Nacional de Medio Ambiente*, El Salvador.
- Martínez, J. (2020). Convenience Packaging, ¿qué marca tendencia? *IDE*, 3.
- Mateo. (2022). Química en la vida cotidiana . *Quil*, 8.
- Mathias, L. (15 de Julio de 2019). *Involves club*. Obtenido de <https://n9.cl/dh1bn>
- Metcalf , y Eddy . (1995). *Ingeniería de aguas residuales 3a ed*. Madrid, España: McGraw-Hill.

- MINSAL . (2009 ). *Guía Técnica Sanitaria para la Instalación y Funcionamiento de Sistemas de Tratamiento Individuales de Aguas Negras y Grises*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, El Salvador.
- Molás, A. (Noviembre de 2018). *Herbalife Nutrition*. Obtenido de <https://n9.cl/q564n>
- MORALES OSORIO, J. A. (2018). *Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano*. Tesis de Grado, UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, FACULTAD DE INGENIERÍA, Perú.
- Morel , A., & Diener , S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Dübendorf: Department of Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology .
- MSPAS . (2007 ). *Guía Para La Gestión De Desechos Sólidos Con Disposición Final En Celdas De Seguridad*, El Salvador.
- Muñoz Cruz , A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. México : Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- naturales, S. d. (2012). *Agua-Calidad*. Mexico.
- Nave, M. O. (2020). *Trabajo, energía, potencia*. Obtenido de <https://n9.cl/kvzrz>
- Okun , D. (1997 ). Distributing reclaimed water through dual systems. *Water Works Association Journal*.
- Orellana , J. (2005 ). *Características de los líquidos residuales*.
- Pérez Benites Viviana Janettea, \*. M. (2019). Composición Química, Propiedades Físicas y Reológicas del mucílago de Aloe barbadensis. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5.
- Pinos, V. (2020). *Las 3 leyes de la dinamica de Newton*. Ecuador.
- PPT. (2017). *Nuevo envase 'convenience' ideal para personas mayores*. Obtenido de <https://n9.cl/7qhzyw>
- R.N. Dominguez-Fernandez, I. Arzate-Vazquez, J. J. Chanona-Perez, J. S. Welti-Chanes, J. S. Alvarado-Gonzalez, G. Calderon-Dominguez, . . . G. F. Gutierrez-Lopez . (11 de Marzo de 2011). EL GEL DE Aloe vera: ESTRUCTURA, COMPOSICION QUIMICA, PROCESAMIENTO, ACTIVIDAD BIOLOGICA E IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA Y ALIMENTARIA. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 23-43.
- Revelo , J. (2016 ). *Evaluación socioeconómica de la implementación de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales* . Universidad de El Salvador .
- Rodríguez , E., y Medina , N. (2013 ). *Estudio de las Aguas Grises Domésticas en tres niveles socioeconómicos de la Ciudad de Bogotá, Colombia* . Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana.
- Rodriguez Sanchez, I. M., y Lozano Rivas, W. A. (11 de Junio de 2012). PREPARACIÓN, COMPOSICIÓN Y USO DE AGUA RESIDUAL SINTÉTICA PARA ALIMENTACIÓN DE REACTORES PROTOTIPO Y DE LABORATORIO. *Revista de Didáctica Ambiental* (11), 10-16.
- Rodríguez, B. I. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la.

- Rosales Ayala , F., y Campos Rodríguez , R. (2019 ). Gestión de las aguas residuales en la ciudad de La Libertad, El Salvador . *Tecnología en Marcha* .
- RTS13.05.01:18. . (2019). *Reglamento Técnico Salvadoreño. Agua. Aguas Residuales. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para descarga y manejo de lodos residuales* . Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC), El Salvador.
- Sastre , J. (2005 ). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales* . Madrid, España .
- SENECA, I. (2019). *Ley de Hooke*.
- SPgroup. (2017). *Envases adaptados a la tercera edad: una solución necesaria*. Obtenido de <https://n9.cl/8fufd2>
- Torrejón, A. R. (2018). *Ley de Hooke, oscilador armonico*.
- Torres-Gómez, G. A., Marulanda-Raigoso, J. S., y Villa-Ramírez, R. (2020). DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE SABILA (Aloe vera) (L.) Burm. f. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, I(32), 16-21.
- VÁSCONEZ CRUZ, D. M. (2013). *TRATAMIENTOS PRIMARIOS PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO EN POBLACIONES RURALES DE 1000, 2000 Y 3000 HABITANTES. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL*. Tesis de Grado, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito.
- Vidre, T. (22 de Noviembre de 2016). *Tipos de material de laboratorio para medición*. Obtenido de <https://n9.cl/kcy8>
- Yaniris, L.-A. (2 de Mayo-Agosto de 2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XL(2), 10-17.

## ANEXOS



**Laboratorio Especializado en Control de Calidad**  
ESEBESA, S.A. DE C.V.

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.  
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

### INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA: LAVINIA SOLEY DOMINGUEZ	CONTROL: AG-208-893
MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	LOTE: NO APLICA
ORIGEN: PROCESO INTERNO	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: 18-08-2022, 11:00 AM	INGRESO: 18-AGO.-2022
DATOS DE CAMPO TOMADOS POR CLIENTE: pH: 6.87,	MUESTREÓ: CLIENTE
TEMPERATURA: 28°C	EMISIÓN: 31-AGO.-2022

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Sólidos Suspendedos Totales secados a 103–105°C * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 2540 D. Fecha final de análisis: 29-ago.-2022	LMP: 450 mg/L	40.0 mg/L
Sólidos Sedimentables * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 2540 F. Fecha final de análisis: 25-ago.-2022	LMP: 20 mL/L	Menor a 0.1 mL/L
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5220 D. Fecha final de análisis: 25-ago.-2022	LMP: 1000 mg/L	372.3 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5210 B. Fecha final de análisis: 25-ago.-2022	LMP: 400 mg/L	214.5 mg/L
Aceites y Grasas * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5520 B. Fecha final de análisis: 31-ago.-2022	LMP: 150 mg/L	11.6 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA TÉCNICA DE ANDA, PLAN HIDRO 2009  
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater  
LMP: Límite Máximo Permisible

El informe corresponde a la muestra recibida y ensayada



Lic. Oscar David Guzmán Julián  
Dirección Técnica

República de El Salvador  
D.N.M.  
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL  
DE CALIDAD (LECC)  
\* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE  
Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.  
Municipio: SAN SALVADOR



OSA  
ENSAYOS  
LEA - 05:02

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC  
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Pag: 1 de 1

**Anexo 1** Resultados de parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica previo al tratamiento con el material coagulante a base de aloe vera.



**Laboratorio Especializado en Control de Calidad**  
ESEBESA, S.A. DE C.V.

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.  
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

**INFORME DE ANÁLISIS**

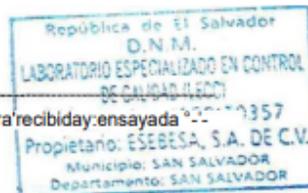
PROCEDENCIA: LAVINIA SOLEY OOMÍNGUEZ	CONTROL: AG-209-695
MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	LOTE: NO APLICA
ORIGEN: PROCESO INTERNO	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: 29-09-2022, 10:30 AM	INGRESO: 29-SEP.-2022
DATOS DE CAMPO TOMADOS POR CLIENTE: pH: 6.52,	MUESTREÓ: CLIENTE
TEMPERATURA: 26°C	EMISIÓN: 13-OCT.-2022

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Sólidos Suspendidos Totales secados a 103-105°C.* Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 2540 D. Fecha final de análisis: 11-oct.-2022	LMP: 450 mg/L	32.0 mg/L
Sólidos Sedimentables Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 2540 F. Fecha final de análisis: 07-oct.-2022	LMP: 20 mL/L	Menor a 0.1 mL/L
Demanda Química de Oxígeno Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5220 D. Fecha final de análisis: 05-oct.-2022	LMP: 1000 mg/L	370.6 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días* Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5210 B. Fecha final de análisis: 05-oct.-2022	LMP: 400 mg/L	183.3 mg/L
Aceites y Grasas* Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5520 B. Fecha final de análisis: 12-oct.-2022	LMP: 150 mg/L	10.1 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA TÉCNICA DE ANDA. PLAN HIDRO 2009  
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater  
LMP: Limite Máximo Permisible

Lic. Oscar David Guzman Julián  
Dirección Técnica

El informe corresponde a la muestra recibida y ensayada el 13/10/2022  
Lic. Oscar David Guzmán Julián  
QUÍMICO FARMACÉUTICO  
Lic. JORGE ACHUTADO BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



ENSAYOS  
13-08-02

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC  
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

**Anexo 2** Resultados de parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica posterior al tratamiento con el material coagulante a base de aloe vera.