

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de sodas- comedor del  
Tecnológico de Costa Rica, Sede Central”**

Laura María Leitón Agüero

CARTAGO, 2017





**“Proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de sodas- comedor del  
Tecnológico de Costa Rica, Sede Central”**

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

**Miembros del tribunal**

---

**Msc. Alma Deloya Martínez**  
**Director**

---

**Msc. Diana Zambrano Piamba**  
**Lector 1**

---

**Msc. Liliana Gaviria Montoya**  
**Lector 2**

---

**Msc. Diana Zambrano Piamba**  
**Coordinador COTRAFIG**

---

**Dra. Floria Roa Gutierrez**  
**Directora Escuela de Química**

---

**Msc. Ana Lorena Arias Zúñiga**  
**Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental**



## **DEDICATORIA**

Le dedico el presente trabajo al ambiente, al cambio hacia un mejor mundo, a quienes creen que todos los esfuerzos y trabajos en nombre del saneamiento son válidos, justificados y muy necesarios en un mundo que pide a gritos una nueva era.



## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco profundamente a Dios por permitirme dedicar una parte de mi vida a contribuir con la fuerza de acciones en pro del medio ambiente. De igual forma, a mi familia y mi niño Bruno, quien comparte este esfuerzo conmigo.

Infinitas palabras le podría escribir a mi profesora tutora Alma, quien con el amor a su profesión que la caracteriza, me enseñó tanto y que se quedará conmigo en mi corazón por siempre.

A todos mis compañeros y profesores que compartieron conmigo una experiencia de vida en salones de clases, cada uno me hizo pensar desde el momento que entré a ambiental que eran personas muy valiosas en este mundo.

De igual forma, le agradezco al personal de la Escuela de Ambiental, CIPA y al desarrollador del quitosano, por su ayuda en el proceso de elaboración de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Objetivos</b>	<b>6</b>
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
<b>Revisión de literatura</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Caracterización de las Aguas residuales de sodas- comedor y trampas de grasa</i>	7
2.1.1 Grasas y aceites/ trampas de grasa	8
2.1.1.1 Trampas de grasa	9
2.1.2 Materia Orgánica- DQO	10
2.1.3 Sustancias Activas al Azul de Metileno	11
2.1.4 pH	13
2.1.5 Temperatura	13
2.1.6 Sólidos Sedimentables	14
2.1.7 Turbiedad	14
2.1.8 Límites de vertido de aguas residuales en cauces receptores y alcantarillados	14
2.2 <i>EL PROCESO DE COAGULACION-FLOCULACIÓN</i>	15
2.2.1 Coagulación	16
2.2.1.1 Factores de influencia en la coagulación	17
2.2.1.2 Acción de los coagulantes en la remoción de partículas coloidales	19
2.2.1.3 Tipos de coagulantes	20
2.2.1.3.1 Coagulante Quitosano	22
2.2.2 Floculación	25
2.2.2.1 Etapas de la floculación	26
2.2.2.2 Factores que influyen en la floculación	26
2.2.2.3 Tipos de floculantes	27
2.2.4.1 Floculante Callaway 4893	28
2.2.4.2 Floculante Hidroxicloruro de aluminio	28
2.2.3 Simulación del proceso de coagulación-floculación	29

<b>3 METODOLOGÍA</b>	<b>30</b>
3.1 <i>Estado actual de las trampas de grasa y MEDICIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE las AR en la entrada y salida de las mismas</i>	32
3.1.1    Estado actual del sistema de tratamiento primario para las sodas-comedor en estudio: trampas de grasa	32
3.1.2    Caracterización del efluente en la entrada y salida del proceso de tratamiento actual (trampa de grasa) para las sodas en estudio	33
3.1.2.1    Características Físico-químicas	34
3.2 <i>Dosis óptima de coagulante con el mejor quitosano y sus condiciones óptimas de coagulación</i>	35
3.3 <i>Selección del mejor floculante y mejores condiciones</i>	39
3.3.1    Floculante Callaway 4893	39
3.3.2    Floculante Hidroxicloruro de Aluminio	40
<b>4 Resultados y discusión</b>	<b>45</b>
4.1 <i>Estado actual de las trampas de grasa en estudio</i>	45
4.2 <i>Características físico- químicas de las entradas y salidas de las trampas de grasa actuales</i>	49
4.2.1    Parámetros físicos	50
4.2.1.1    Temperatura	51
4.2.1.2    Turbiedad	51
4.2.1.3    Sólidos sedimentables	52
4.2.2    Parámetros químicos	52
4.2.2.1    pH	53
4.2.2.2    Demanda química de oxígeno	54
4.2.2.3    Grasas y Aceites	54
4.2.2.4    Sustancias Activas al Azul de Metileno	56
4.3 <i>Condiciones óptimas del proceso de coagulación con quitosano</i>	56
4.3.1    Valoración de tres quitosanos	57
4.3.2    pH óptimo de coagulación	58
4.3.3    Dosis óptima de coagulación	59
4.4 <i>Valoración de la coagulación-floculación con dos floculantes: Callaway 4893 e Hidroxicloruro de Aluminio</i>	61
4.4.1    Tratamiento de coagulación- floculación con floculante CALLAWAY 4893	61
4.4.2    Tratamiento de coagulación-floculación con floculante Hidroxicloruro de Aluminio	63

4.4.2.1	Condiciones óptimas de coagulación-floculación y dosis diarias de coagulante y floculante de acuerdo con el caudal de las aguas residuales de las tres sodas-comedor en estudio.	66
4.5	<i>Eficiencias de remoción de detergentes y eficiencias de otros parámetros medidos para las tres sodas-comedor en estudio</i>	68
4.5.1	Características físico-químicas de las aguas tratadas en el proceso de coagulación-floculación	68
4.5.2	Eficiencias de remoción de características físico-químicas del efluente del proceso de coagulación-floculación de las aguas residuales de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica	72
4.5.3	Eficiencia de remoción de Sustancias Activas al Azul de metileno	73
4.5.4	Eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno	74
4.5.5	Eficiencia de remoción de Grasas y aceites	76
4.5.6	Turbiedad	77
<b>5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>79</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>Apéndices</b>	<b>85</b>
	<b>Apéndice 1: Detalle de los muestreos realizados</b>	<b>87</b>
	<b>Apéndice 2: Obtención de los quitosanos a partir de quitina</b>	<b>88</b>
	<b>Apéndice 3: datos generales de las prácticas de lavado en las sodas-comedor en estudio</b>	<b>91</b>
	<b>Apéndice 4: Otras pruebas de coagulación-floculación realizadas</b>	<b>92</b>
	<b>Apéndice 5: porcentaje de SAAM residual medido para varias pruebas de coagulación-floculación</b>	<b>95</b>
	<b>Anexos</b>	<b>99</b>
	<b>Anexo 1: Ubicación de las trampas de grasa en las sodas-comedor</b>	<b>99</b>
	<b>Anexo 2: Recopilación fotográfica de las pruebas de laboratorio realizadas</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1. Proceso de coagulación.....	19
Figura 2. 2. Diagrama de la obtención de la quitina y el quitosano Fuente: Tafur & Quebedo, 2014. .....	25
Figura 3. 1. Ubicación del proyecto dentro del Campus del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central. Tomado de (Departamento de Ingeniería, 2016) .....	30
Figura 3. 2. Diagrama del sistema de tratamiento primario actual y posible tratamiento secundario; detalle de las mediciones de caracterización de las AR .....	31
Figura 4. 1. Diagrama de la TG de la Soda TEC.....	46
Figura 4. 2.Sistema de TG de la Soda Casa Luna .....	47
Figura 4. 3. Sistema de tratamiento de la TG de la Soda ASETEC. ....	48
Figura 4. 4. Cantidad de SAAM residual (%) para tres quitosanos a diferente peso molecular para diferentes dosis de coagulante. ....	57
Figura 4. 5. Porcentaje de SAAM residual a diferentes pH`s en tres sodas del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central. ....	58
Figura 4. 6. Porcentaje de SAAM residual a diferentes dosis de coagulante quitosano en tres sodas del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.....	59
Figura 4. 7. Porcentaje de SAAM residual a diferentes dosis de floculante Callaway 4893 al 1%, en soda TEC, del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central. ....	62
Figura 4. 8. Porcentaje de SAAM residual para diferentes dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio a varias diluciones para las AR de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica.....	65
Figura 4. 9.Diagrama de cajas de la remoción de SAAM en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central. ....	73
Figura 4. 10.Eficiencia de remoción de DQO en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central. ....	75
Figura 4. 11. Eficiencia de remoción de Grasas y Aceites en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central. ....	76
Figura 4. 12. Eficiencia de remoción de Grasas y Aceites en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central. ....	78

Figura A.1. 1. Ubicación TG Soda TEC. Fuente: Departamento de Ingeniería, 2016.....	99
Figura A.1. 2. Ubicación TG Soda Casa Luna. Fuente: Departamento de Ingeniería, 2016 .....	99
Figura A.1. 3. Ubicación TG Soda ASETEC. Fuente: Departamento de Ingeniería, 2016 .....	99
Figura A.2. 1. Prueba de sólidos sedimentables realizada a muestra de Soda ASETEC .....	101
Figura A.2. 2. Rotavapor para extraer el ar de la muestra de grasas y aceites .....	101
Figura A.2. 3. Embudos de separación, Prueba de grasas y aceites .....	102
Figura A.2. 4. Reactivos utilizados en las pruebas de SAAM .....	102
Figura A.2. 5. Equipo de medición de SAAM .....	103
Figura A.2. 6. Jarras con efluente de la trampa de grasa, Soda Tec previo a coagulación-floculación .....	103
Figura A.2. 7. Jarras con mejores condiciones de coagulación-floculación paras Soda TEC bajo mejores condiciones,8 de setiembre, 2016 .....	104
Figura A.2. 8. Jarras con efluente de la trampa de grasa, Soda Casa Luna previo a coagulación-floculación .....	104
Figura A.2. 9. Jarras con mejores condiciones de coagulación-floculación paras Soda Casa Luna bajo mejores condiciones,8 de setiembre, 2016 .....	105
Figura A.2. 10. Jarras con mejores condiciones de coagulación-floculación paras ASETEC bajo mejores condiciones, 2 de setiembre, 2016 .....	105
Figura A.2. 11. Prueba de coagulación-floculación con floculante Callaway 4893 para Soda TEC. ....	106
Figura A.2. 12. Dosis optima quitosano, sin proceso de floculación 24 de mayo para Soda TEC. ....	106
Figura A.2. 13 Detergente utilizado en Soda TEC.....	107
Figura A.2. 14. Detergente utilizado en Casa Luna .....	108
Figura A.2. 15. Detergente utilizado en ASETEC .....	108
Figura A.2. 16. Formulario solicitud de limpieza de Trampas de Grasa.....	109
Figura A.2. 17. Extracto de la reforma del Vertido Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales y.....	110

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2. 1. Límites de vertido de aguas residuales en cauces receptores y alcantarillados .....	15
Cuadro 3. 1. Nombre de los quitosanos utilizados y su origen .....	35
Cuadro 3. 2. Prueba de coagulación-floculación para determinar el mejor coagulante con floculante Hidroxicloruro de Aluminio a volúmenes de jarras de un litro .....	36
Cuadro 3. 3. Prueba de coagulación-floculación para valorar el pH con coagulante Quitosano A y floculante Hidroxicloruro de Aluminio a volúmenes de jarras de un litro .....	37
Cuadro 3. 4. Prueba de coagulación-floculación con variaciones de RPM de coagulación, con coagulante Quitosano A y floculante Hidroxicloruro de Aluminio a volúmenes de jarras de un litro .....	38
Cuadro 3. 5. Características de los floculantes utilizados en el proceso de coagulación-floculación	39
Cuadro 3. 6. Prueba de coagulación-floculación utilizando como coagulante quitosano A y floculante Callaway 4893 a volúmenes de jarras de un litro. ....	40
Cuadro 3. 7. Pruebas de coagulación-floculación con floculante Hidroxicloruro de Aluminio sin diluir, para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica a volúmenes de jarras de un litro .....	41
Cuadro 3. 8. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano como coagulante y como floculante Hidroxicloruro de Aluminio diez veces diluido, a volúmenes de jarras de un litro. ....	42
Cuadro 3. 9. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano como coagulante y como floculante Hidroxicloruro de Aluminio diez veces diluido, a volúmenes de jarras de un litro. ....	43
Cuadro 3. 10. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano A como coagulante y como floculante Hidroxicloruro de Aluminio cuatro veces diluido, a volúmenes de jarras de un litro.....	44
Cuadro 4. 1. Caudal pico estimado para tres sodas-comedor ubicadas en la sede central del Tecnológico de Costa Rica.....	49
Cuadro 4. 2. Parámetros físicos medidos en las entradas y salidas de las trampas de grasa de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica .....	50

Cuadro 4. 3. Parámetros químicos medidos en las entradas y salidas de las trampas de grasa de las tres sodas- comedor del Tecnológico de Costa Rica .....	53
Cuadro 4. 4. Proceso de coagulación-floculación para las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano A como coagulante y como floculante Hidroxicloruro de Aluminio cuatro veces diluido, a volúmenes de jarras de un litro bajo condiciones de coagulación-floculación óptimas.....	66
Cuadro 4. 5. Caudal pico estimado para tres sodas-comedor ubicadas en la sede central del Tecnológico de Costa Rica.....	67
Cuadro 4. 6. Características físico-químicas del efluente del proceso de coagulación-floculación de tres sodas- comedor del Tecnológico de Costa Rica .....	69
Cuadro 4. 7. Eficiencias de remoción de las trampas de grasa y el tratamiento de coagulación-floculación con quitosano A e Hidroxicloruro de Aluminio bajo condiciones óptimas.....	72
Cuadro A.3. 1. Descripciones generales de las Sodas-Comedor en estudio y sus técnicas de lavado .....	91
Cuadro A.4. 1. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica.....	92
Cuadro A.4. 2.Procedimiento de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica con mediciones de turbiedad .....	93
Cuadro A.4. 3. Procedimiento de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica con variaciones en la forma de aplicar el quitosano.....	94
Cuadro A.5. 1. Porcentaje de SAAM residual utilizando varios quitosanos a diferente peso molecular para Soda TEC.....	95
Cuadro A.5. 2. Porcentaje de SAAM residual con ajustes de pH entre 6 y 8 para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación.....	95
Cuadro A.5. 3. Porcentaje de SAAM residual a varias dosis de coagulante quitosano para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación.....	96
Cuadro A.5. 4.Porcentaje de SAAM residual a varias dosis de floculante Callaway4893 para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación.....	96
Cuadro A.5. 5. Porcentaje de SAAM residual a varias dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio con diferentes factores de dilución para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación .....	97

Cuadro A.5. 6. Eficiencias de remoción de SAAM bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación .....	97
Cuadro A.5. 7. Eficiencias de remoción de grasas y aceites bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica.....	98
Cuadro A.5. 8. Eficiencias de remoción de DQO bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica .....	98
Cuadro A.5. 9. Eficiencias de remoción de turbiedad bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica .....	98



## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

TG	Trampa de Grasa
DQO	Demanda Química de Oxígeno
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
CIPA	Centro de Investigación y Protección Ambiental
AR	Aguas Residuales
PM	Peso Molecular
GyA	Grasas y Aceites

## RESUMEN

En las aguas residuales de tres sodas- comedor del Tecnológico de Costa Rica, se han encontrado concentraciones de sustancias activas al azul del metileno (SAAM) o detergentes, mayores a 5 mg/L, el cual es el límite establecido en Costa Rica, según el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 3360. Una posible alternativa de tratamiento a este problema, es la implementación de sistemas de coagulación-floculación. Se escogió el quitosano como coagulante a utilizar, debido a su biodegradabilidad, rápidas velocidades de sedimentación, accesible obtención y mejor calidad del efluente. Fueron realizadas pruebas de coagulación-floculación con el equipo de jarras para determinar las condiciones óptimas de trabajo del quitosano con diferentes pesos moleculares y bajo estas condiciones, determinar el porcentaje de remoción de detergentes en las aguas de salida de las trampas de grasa de las tres sodas-comedor evaluadas. La dosis de coagulante quitosano al 1% óptima para las tres sodas fue de 30mg/L a 160 RPM en mezcla rápida por tres minutos. La dosis óptima de floculante al 1%, diluido cuatro veces, se determinó en 10 mg/L a 90 RPM en mezcla lenta por tres minutos, dejándose sedimentar por diez minutos. Las bajas cantidades de coagulante y floculante a dosificar es una ventaja del tratamiento para este tipo de agua residual. Además, se logró aumentar la eficiencia de remoción de sustancias tensoactivas hasta en un 40%, respecto de la trampa de grasa, lográndose eficiencias de remoción de hasta el 99%, con lo cual se cumplió la norma de vertido de detergentes para las tres sodas- comedor después del proceso de coagulación- floculación. De forma complementaria, se caracterizaron las aguas residuales de las sodas- comedor, para determinar las condiciones de operación del sistema de coagulación propuesto para remover detergentes, encontrándose que para mejorar las condiciones de remoción de DQO y grasas y aceites, debe de tenerse una limpieza continua de las grasas y material sedimentado por parte del personal, para que el agua no entre en condiciones de anareobiosis y se den arrastres de carga. Como resultado paralelo, se determinó que el quitosano, también remueve DQO y grasas y aceites.

**Palabras clave:** Coagulación y floculación, Tratamiento de agua, Eficiencias de remoción de detergentes, SAAM, Análisis de aguas, Aguas residuales de sodas-comedor, Quitosano.



## **ABSTRACT**

In wastewaters of three restaurants from the Costa Rican Institute of Technology, Central Campus, high concentrations of detergents have been found, exceeding the guideline of 5 mg/L, established by the Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 3360. A possible alternative to this problem, is a system based on coagulation-flocculation. The chitosan was selected as the coagulant to be used on the study, because of its biodegradability and easily obtention. Several number of jar tests as coagulation-flocculation system, were did to determinate the optimum working conditions of the chitosan with diferent molecular weights and under this conditions, the percentage of detergent removal from the grease trap wastewater from each reastaurant evaluated, was calculated. The chitosan optimal dose for all restaurants evaluated was 30 mg/L at 160 RPM by three minutes. The flocculant Hidroxicloruro de Aluminio optimal dose was set by 10 mg/L, four times diluted at 90 RPM by three minutes and then settle for ten minutes. An advantage of using those coagulant and chitosan are the lower doses compared to other coagulants and flocculants. (Huang, Li, Li, Yang, & Ran, 2016).The detergents removal efficiency, was increased by up to 40%, compared to the percentage obtained by the grease trap, achieving removal efficiencies up to 99%. In addition, the guideline for detergents, was fullfilled by the three wastewater from restaurants analyzed, after the coagulation-flocculation process. Also, the effluent from the three restaurants was characterized to determine the operating conditions of the proposed coagulation system to remove detergents. It had been found that in order to improve the conditions for the removal of COD and grease and oils, a continous cleaning of the fats and sedimented material, must be carried out by the maintenance staff each fifteen days, so that the water does not enter into conditions of anaerobiosis. As a parallel result, it was determinated that chitosan, also removes fats and COD. All tests were done with simple sampling of the wastewater from restaurants: Soda TEC, Casa Luna and ASETEC.

### **Key words:**

Coagulation and flocculation, Water treatment, Detergent removal efficiencies, SAAM, Water analysis, Wastewater, Chitosan.



## 1 INTRODUCCIÓN

Costa Rica es un país de gran riqueza hídrica. Es mundialmente conocido por las acciones en pro de lograr un desarrollo sostenible, que incluye la protección de sus fuentes naturales. Es en este sentido, en donde el manejo y tratamiento de las aguas residuales toma vital importancia y ante el cual, el cumplimiento de la normativa creada para regular su disposición en los cuerpos receptores finales, debe ser el objetivo de los tratamientos diseñados para remoción de contaminantes.

La naturaleza del agua residual a tratar, depende en gran medida, del proceso del cual proviene. Así, por ejemplo, para el caso de las aguas residuales de sodas-comedor, los mayores contaminantes son: sólidos suspendidos, grasas y aceites, sobras de comida, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno (Vishakha Kaushik, 2014) y detergentes.

El sistema de tratamiento primario de aguas residuales de sodas-comedor que predomina en Costa Rica, son las trampas de grasa. Este sistema se utiliza para controlar ciertos tipos de grasas, las cuales, utilizan la gravedad para separar las grasas y aceites más livianos, los cuales son retenidos en un tanque de almacenamiento, dando luego lugar a la sedimentación en el fondo del tanque de los restos alimenticios del proceso (Vishakha Kaushik, 2014) y haciendo posible descargar al sistema colector las aguas libres de grasas.

Debido a que las trampas de grasa no son diseñadas para remover del agua residual los detergentes (Metcalf, 1985), **se enfocó el presente estudio en la remoción de los agentes tenso activos conocidos como Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) o detergentes de las aguas residuales de tres sodas-comedor con diferente número de almuerzos servidos.** El vertido de detergentes, es regulado por el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601. En el caso de ser vertidos a un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario, el límite máximo permisible para las SAAM es de 5 mg/L.

Entre las técnicas de remoción de sustancias coloidales como los detergentes, se encuentra el uso de coagulantes de tipo orgánico o inorgánico. Se hicieron simulaciones del proceso de coagulación-floculación con el coagulante orgánico derivado de la quitina de los crustáceos, conocido como quitosano, el cual es un biopolímero muy utilizado desde hace años en aguas residuales como coagulante para la remoción de metales pesados, tintas, entre otros (Huang, Li, Li, Yang, & Ran, 2016).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Optimizar el proceso para el tratamiento por coagulación-floculación de las aguas residuales procedentes de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central, para remover detergentes, de forma que cumpla el Reglamento de Vertido para aguas residuales vigente en Costa Rica.

### **Objetivos específicos**

Analizar el funcionamiento de las trampas de grasa de las tres sodas-comedor con diferente número de almuerzos servidos y caracterizar el efluente de cada una en la entrada y salida del proceso de tratamiento actual (trampa de grasa) en contenido de materia orgánica (DQO), Grasas y Aceites (GyA), detergentes (SAAM), Sólidos Sedimentables (SSed), Turbiedad, pH y Temperatura.

Identificar la dosis de coagulante óptima con el mejor quitosano bajo condición de pH adecuado y sus tiempo de agitación y RPM en el proceso de coagulación-floculación.

Determinar el mejor floculante entre Callaway4893 e Hidroxicloruro de Aluminio y obtener las condiciones óptimas de operación: dosis óptima, tiempo de agitación, RPM de floculación y tiempo de sedimentación del proceso de coagulación-floculación, para el floculante con el mejor desempeño.

Evaluar la remoción de detergentes por el proceso de coagulación-floculación y cómo se afectan otras eficiencias de remoción de: grasas y aceites, DQO y turbiedad de las aguas residuales provenientes del proceso de coagulación-floculación bajo condiciones óptimas, de tres sodas comedor del Tecnológico de Costa Rica.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

Esta sección expone información general sobre el sistema de tratamiento de coagulación-floculación. Se hace una revisión de literatura sobre las trampas de grasa como tratamiento primario de las aguas residuales de sodas-comedor. También se presenta una revisión de las características de influencia en el procedimiento de coagulación-floculación, como sólidos sedimentables, SAAM, DQO, grasas y aceites y turbiedad y por último se resumen los tipos de coagulantes y floculantes evaluados, así como los procesos de coagulación-floculación en sí.

### **2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE SODAS- COMEDOR Y TRAMPAS DE GRASA**

Según Vishakha Kaushik, 2014, el agua residual de restaurantes es de impacto ambiental tanto en el volumen de efluente como en carga contaminante, de los cuales las principales características son: sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, grasas y aceites y sobras de comida. Otros contaminantes del agua residual de sodas-comedor son las sustancias activas al azul de metileno o detergentes (Ruiz, 2012).

Además Vishakha Kaushik, 2014, establece que, las aguas residuales de restaurantes, deben comprender tres procesos de tratamiento: primario, secundario y terciario, con el objetivo de cumplir la normativa vigente, establecida en el Reglamento de vertido y uso de agua residual, en el caso de Costa Rica, en donde el tratamiento primario se señala como unidades separadoras de grasa, en número que abasta la necesidad de saneamiento del caudal generado, según el decreto N° 36304 S-MINAET.

En el caso del tratamiento secundario, se señala la posibilidad de un tanque de dosificación en donde se lleve a cabo el procedimiento de coagulación-floculación (Vishakha Kaushik, 2014) . Se han realizado estudios de electrocoagulación y electroflotación, el cual tiene dos principales ventajas: se produce menos agua en el lodo de sedimentación y se tienen menores tiempos de retención en el tanque de contacto. Sin embargo, requiere de fuente de energía para operar. (Guohua Chen, 2000).

### **2.1.1 Grasas y aceites/ trampas de grasa**

Según Romero, (2013), son sustancias solubles en hexano compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno. El término grasas y aceites se refiere a aceites, grasas, ceras y otros similares presentes en las aguas residuales.

Las grasas y aceites de origen vegetal o animal son similares químicamente, pues son ésteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerol. En este sentido, los triglicéridos que permanecen líquidos a temperatura ambiente se conocen como aceites y los que permanecen sólidos se conocen comúnmente como grasas (Crites & Tchobanoglus, 2000).

Debido a las propiedades de las grasas, su presencia en aguas residuales puede causar muchos problemas, entre los principales se enlistan los siguientes (Crites & Tchobanoglus, 2000):

- Son difíciles de biodegradar: las de origen mineral pueden ser no biodegradables, siendo necesario un pretratamiento de remoción previo al tratamiento biológico.
- Recubren las superficies con las que entran en contacto.
- Causan iridiscencia y problemas de mantenimiento.
- Altas cantidades de grasas y aceites pueden afectar el funcionamiento de las plantas de tratamiento.

- Deben ser removidas de los sistemas de tratamiento, pues el material acumulado limita la transferencia de oxígeno y puede causar fallas.
- Si las grasas y aceites no se remueven en los procesos de pre-tratamiento de las AR, se tenderán a acumular en los procesos siguientes y si no son tratadas antes del vertido final, pueden interferir con la vida biológica en la superficie de las fuentes receptoras, pues forman películas translúcidas en la superficie de un cuerpo de agua.

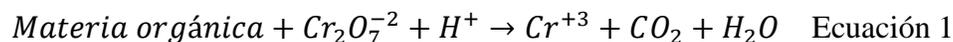
En las aguas residuales de restaurantes, se espera que se encuentre gran cantidad de grasas y aceites, pues éstas provienen de alimentos tales como: mantequilla, aceites vegetales, carnes, manteca, entre otros. El aumento de productos que contienen grasas y aceites y los aceites solubles a temperaturas bajas, han ocasionado que la remoción de grasas y aceites sea cada vez más compleja. Las concentraciones típicas de grasas y aceites van desde 1000 hasta 2000 mg/L o más (Crites & Tchobanoglus, 2000). Para evitar los problemas ocasionados por su falta de remoción, la concentración en el efluente de grasas y aceites de los sistemas de tratamiento debe ser menor a 30 mg/L, según el Reglamento de vertido y reuso de las aguas residuales en Costa Rica.

#### ***2.1.1.1 Trampas de grasa***

Las “trampas de grasa”, son el sistema de tratamiento primario predominante para realizar remociones locales de grasas y aceites. En el mercado nacional se cuenta con un gran número de tipos de trampas de grasas y aceites. Entre las limitaciones que tienen estos sistemas son sus cortos tiempos de retención (Vishakha Kaushik, 2014). Para su valoración, se deben considerar los caudales pico como los observados en las AR de restaurantes. También, se pueden utilizar tanques sépticos para la remoción de grasas y aceites, dando estos mayor volumen y mayor separación de GyA. Para las descargas de restaurantes, el uso de tres unidades de remoción en serie (ya sean trampas de grasa o tanques sépticos) proporciona una efectiva separación de grasas y aceites (Crites & Tchobanoglus, 2000).

### 2.1.2 Materia Orgánica- DQO

Para medir la cantidad de materia orgánica presente en un AR, se utiliza la demanda química de oxígeno (DQO). Esta mide la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable por un agente químico fuerte como el dicromato de potasio en medio ácido y a alta temperatura, como se ilustra en la Ecuación 1 (Crites & Tchobanoglus, 2000).



Siendo posible, utilizar un catalizador como el sulfato de plata para oxidar algunos compuestos orgánicos. La interpretación correcta de los resultados, depende de varios factores tales como (Romero, 2013):

- Muchos compuestos orgánicos oxidables por el dicromato de potasio, no son oxidables biológicamente: se puede introducir una DQO inorgánica por la oxidación de compuestos de sulfuros, nitritos y hierro ferroso por medio del dicromato de potasio.
- Hay compuestos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos que no son solubles por el dicromato de potasio.
- El valor de DQO puede aumentar por el proceso de hidrólisis del agua.

### 2.1.3 Sustancias Activas al Azul de Metileno

También conocidos como agentes tenso activos (pues disminuyen la tensión superficial de los líquidos donde se le diluye) o agentes superficiales activos, son moléculas grandes, polares y diluibles en agua y aceites. Se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (no soluble en agua) y otro fuertemente hidrofílico (soluble en agua) (Crites & Tchobanoglus, 2000). Esto permite que se formen miscelas, que permiten enlazar las moléculas de suciedad y ser arrastradas por el agua durante el lavado (Ramírez, 2006).

Se les mezcla con sales sódicas como sulfatos y fosfatos. Hasta antes de la legislación de 1965, el alquil benceno sulfonato (ABS), tensoactivo presente en detergentes sintéticos y cuyo anillo bencénico no es biodegradable, era el principal detergente del mundo. Sin embargo, se ha remplazado el ABS con el alquil benceno sulfonato lineal (ALS), pues este último es biodegradable en condiciones aerobias biológicas (Romero, 2013). Además, en esta misma época, la cantidad en proporción de fósforo fue disminuida de un 60-70% a un 2%, habiendo países en la actualidad (Canadá por ejemplo) que lo regulan a valores inferiores al 0,5% (Ramírez, 2006).

Según su grupo polar hidrófilo pueden ser (Romero, 2013):

- Aniónicas
- Catiónicas
- No iónicos

Estas sustancias se encuentran presentes en las aguas residuales por la descarga de detergentes utilizados en actividades de limpieza y favorecen la formación de espumas al estar en contacto con agitación y mezcla (Ramírez, 2006) en los sistemas de tratamiento y en los cuerpos receptores, aún con concentraciones bajas (un miligramo por litro), cuando se acumulan en la interfaz aire-agua. Se espera que los ALS, produzcan menos cantidad de espuma. Entre los problemas que conlleva la presencia de SAAM en el agua residual, se encuentran (Romero, 2013):

- Inhibe la actividad biológica en los sistemas aerobios, pues dificulta el proceso de intercambio de aire-oxígeno. Además al darse la formación de espumas estables, se dificulta su remoción tanto en las espumas como en los lodos en donde sedimentan estables con el lodo (Ramírez, 2006).
- Disminuye la solubilidad del oxígeno.
- Los detergentes son fuente principal de fósforo en las aguas residuales, los cuales, en grandes cantidades, causan la eutrofización en lagos.

Al verter AR con alto contenido de SAAM, debido a los grupos fosfatos en su composición, se aumenta la cantidad de nutrientes disponibles, lo cual da como resultado, un aumento de la cantidad de algas en el ecosistema. El aumento de algas, provoca que la luz del sol no pueda ingresar de forma adecuada a las capas inferiores del receptor, provocando condiciones anóxicas. Este proceso es conocido como Eutrofización (Romero, 2013). Además, la degradación por oxidación química de los detergentes produce que se desdoblén o descompongan en sustancias más simples que contaminan más porque son más tóxicos (Ramírez, 2006).

Para determinar los ABS/ALS y otros surfactantes aniónicos presentes en una muestra, se valora la formación de una sal de color azul cuando reacciona con una muestra estándar de azul de metileno (Crites & Tchobanoglus, 2000). Es por esto, que al conjunto de las sustancias determinadas por la prueba se les conoce como SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno. La sal formada es soluble en cloroformo y su cantidad es proporcional a la concentración del mismo (Ramírez, 2006).

#### 2.1.4 pH

Es el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno (Crites & Tchobanoglus, 2000). La Ecuación 2, define la expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno:

$$\text{pH} = -\log_{10}[H^+] \quad \text{Ecuación 2}$$

El pH se mide en forma instrumental empleando un pH metro. También se pueden utilizar soluciones y papeles indicadores que cambian de color a diferentes valores de pH. El intervalo de pH para que exista vida se encuentra entre 5 y 9. Si el agua residual se sale de este ámbito, presenta dificultad para ser tratada por procesos biológicos. En el caso de vertido de agua residual a un cuerpo receptor, se puede alterar el pH de la fuente receptora al no ser ajustado el pH a la normativa vigente de vertido (Crites & Tchobanoglus, 2000).

#### 2.1.5 Temperatura

La temperatura del agua residual tiende a ser mayor que la temperatura de abastecimiento, pues en los procesos de uso de agua se tiende a incorporar procesos de calentamiento. La medición de la temperatura es de gran importancia, pues muchos procesos biológicos dentro de los sistemas de tratamiento, dependen de la temperatura. Además de que afecta directamente las reacciones químicas, las velocidades de reacción y la vida acuática (el oxígeno es menos soluble en agua caliente) (Crites & Tchobanoglus, 2000).

Según Crites y Tchobanoglus, el ámbito óptimo para la actividad bacteriana está entre 25 y 35°C. A valores de 50°C, la digestión aerobia se detiene y cuando la temperatura se acerca a 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad.

### **2.1.6 Sólidos Sedimentables**

En el agua residual, contiene una variedad de materiales sólidos tales como hilachas o materiales coloidales. Específicamente, los sólidos sedimentables, se refiere a sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litro de agua residual, que se sedimentarán por fuerza de la suspensión dentro de un período de tiempo específico (Crites & Tchobanoglus, 2000).

### **2.1.7 Turbiedad**

Es una forma de medir la dispersión de la luz en las aguas residuales y la calidad de las aguas naturales. La medición de la turbiedad se hace comparando la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones (HAPA, 2012).

El material coloidal suspendido, impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa. Se encuentra relacionada a partículas de tamaños entre 0,1 y 1,0  $\mu\text{m}$ . No se reporta una relación definida entre los sólidos suspendidos y la turbiedad (Crites & Tchobanoglus, 2000).

### **2.1.8 Límites de vertido de aguas residuales en cauces receptores y alcantarillados**

En Costa Rica el efluente vertido en cuerpos receptores de aguas es normado por el reglamento N°33601-S-MINAE, publicado el 19 de marzo de 2007. En el Cuadro 2. 1, se resumen los valores de vertido normados por la ley vigente.

**Cuadro 2. 1. Límites de vertido de aguas residuales en cauces receptores y alcantarillados**

Parámetro	Límite de vertido a cuerpo receptor	Límite de vertido a cuerpo receptor
DBO (mg/L)	50	300
DQO (mg/L)	150	750
Sólidos suspendidos (mg/L)	50	300
Grasas-aceites (mg/L)	30	50
Potencial de hidrógeno	5 a 9	6 a 9
Temperatura (°C)	$15 \leq T \leq 40$	$15 \leq T \leq 40$
Sólidos sedimentables mL/L	1	5
SAAM (mg/L)	5	5

Fuente: Reglamento N°33601-S-MINAE

## 2.2 EL PROCESO DE COAGULACION-FLOCULACIÓN

El objetivo de la coagulación y floculación es convertir las impurezas que se encuentran en suspensión fina, en estado coloidal o en solución, en partículas de mayor tamaño (flóculos) para que puedan ser eliminadas por sedimentación, filtración o, en algunos casos, por flotación. Las partículas coloidales presentes en el agua son las que tienen mayores problemas de remoción, pues son de pequeño tamaño y tienen propiedades electrocinéticas (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010). Específicamente, las pruebas de coagulación-floculación, se utilizan para aglomerar y posteriormente, eliminar, partículas coloidales en suspensión del agua. El tamaño de las partículas en suspensión, provenientes de materia orgánica y de tamaño menor a un micrómetro, se depositan muy lentamente y esto dificulta la posterior decantación, sin la adhesión de un factor externo. Además, los coloides son estables, su sedimentación natural no es posible (Andía, 2000).

Según Andía, las partículas coloidales son hidrofílicas e hidrofóbicas, causando la estabilidad del coloide y además, la turbiedad del agua. Es por esta razón, que el tratamiento del agua está relacionado a remover estas sustancias.

En forma general, la partícula coloidal tiene carga negativa, la cual atrae fuertemente las moléculas de agua en su lado positivo, las cuales a su vez, desarrollan una capa alrededor de iones positivos menos fuerte, creándose un diferencial de potencial (Andía, 2000). Las partículas se ven sometidas a dos tipos de fuerzas: *Van der Waals* (por el movimiento de las partículas) y las de repulsión-electrostáticas, que se generan por diferencias de carga.

Los coagulantes producen flóculos mediante la desestabilización de partículas que tienen carga negativa, mientras que los floculantes favorecen la aglomeración de los flóculos por la formación de puentes poliméricos entre las partículas. Si se utilizan sales metálicas se forman especies activas al ser adicionadas al agua, las cuales desestabilizan las partículas ya sea por neutralización de cargas, donde las especies catiónicas formadas con la hidrólisis se adsorben a las partículas en el agua, o por coagulación por barradura donde los precipitados del oxyhidróxido de aluminio aglomeran las partículas al momento de su sedimentación. Estos procesos de hidrólisis y desestabilización ocurren en fracciones de segundo (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010).

### **2.2.1 Coagulación**

Para buscar una solución a la contaminación del agua, se han empleado diversos agentes coagulantes como sales metálicas y polímeros con cargas definidas en su estructura o poli electrolitos (Balanta, Grande, & Zuluaga, 2010). Los coagulantes son productos químicos que reaccionan con los componentes químicos del agua (alcalinidad) y provocan un precipitado muy absorbente (Andía, 2000). Los más utilizados son las sales de Aluminio y de Hierro; los cuales producen una serie de reacciones muy complejas y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que forman los precipitados.

Por medio de los ensayos de pruebas de jarras, se pueden determinar las condiciones óptimas de coagulación. Para optimizar el proceso de coagulación, se deben tomar en cuenta los siguientes factores: pH, turbiedad, sales disueltas, temperatura del agua, tipo de coagulante utilizado, condiciones de mezcla, sistemas de aplicación de los coagulantes, tipos de mezcla y el color (Huang, Li, Li, Yang, & Ran, 2016). El procedimiento de coagulación bajo las condiciones adecuadas, se prefiere por ser el método más económico y que remueve mayor cantidad de sustancias de diferentes pesos. Sin embargo, si se realiza de forma incorrecta la calidad del agua disminuye y se incurre en elevados costos de operación (Andía, 2000).

### ***2.2.1.1 Factores de influencia en la coagulación***

El pH es la variable más importante en el proceso de coagulación. El ámbito de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado, su concentración y de la naturaleza del agua a tratar. Cuando se realiza la coagulación fuera del ámbito de pH óptimo, entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante y se afecta la solubilidad del mismo en el agua y el tiempo de formación del flóculo. Además, la carga eléctrica afecta el coagulante, buscándose pH's neutros que originen una carga neutra y reduzcan el potencial zeta que reducen la concentración de coagulante necesaria y el tiempo del proceso (Tafur & Quebedo, 2014).

La dosis del coagulante es otro factor a considerar en la coagulación. Influye directamente en la eficiencia del proceso pues si se adhiere poca cantidad, no se neutraliza totalmente la carga de la partícula coloidal y se da una mínima formación de flóculos. Sin embargo, si se adiciona una alta cantidad de coagulante, se invierte la carga de la partícula coloidal, formándose gran cantidad de flóculos de pequeño tamaño, tardando mucho tiempo en sedimentar. Por esta razón, debe ajustarse la dosis a la ideal (Tafur & Quebedo, 2014).

En la coagulación, también se debe considerar la turbiedad, pues cada turbiedad tiene una concentración óptima de coagulante. En el caso del agua potable, las partículas que causan la turbiedad, tienen tamaños similares (Andía, 2000). En cambio, en el caso de las AR, las partículas tienen tamaños diferentes, lo cual hace que se ocupe dosificar menor cantidad de coagulante y en donde, a mayor cantidad de turbiedad, se debe aplicar mayor cantidad de coagulante, siendo esta relación no proporcional, pues a altas cantidades de turbiedad también se logran mayores choques entre partículas (Tafur & Quebedo, 2014).

Otro factor a tomar en cuenta, es la agitación del agua durante la adición del coagulante, debiéndose controlar la homogeneidad en el mezclado para evitar mayores concentraciones del coagulante (Tafur & Quebedo, 2014).

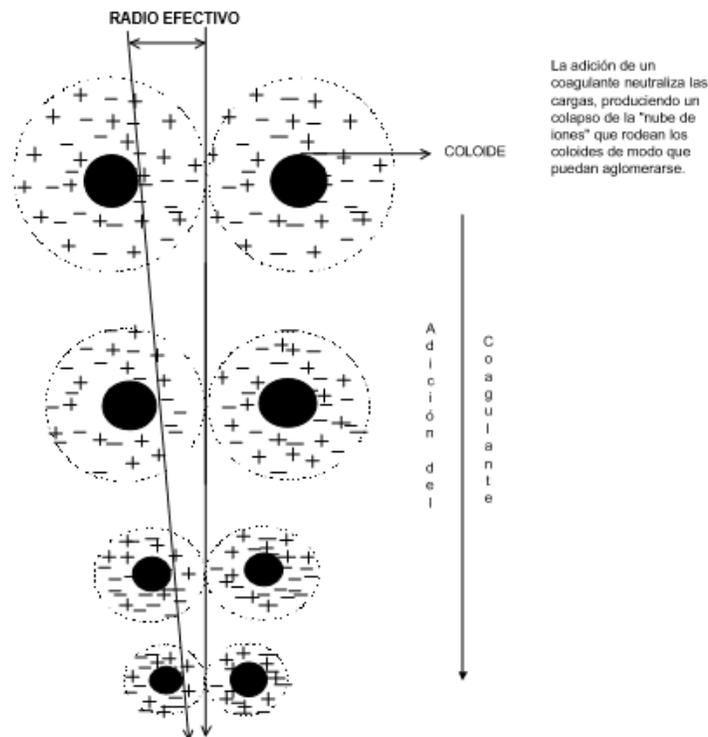
Según Tafur & Quebedo, en la coagulación, la mezcla es enérgica y de corta duración para esparcir el coagulante dentro del volumen del agua a tratar, siendo posible un aumento de dosis si no se realiza de forma rápida. En la floculación, se busca desarrollar los microflóculos de forma lenta. La cantidad de coagulante es importante en la coagulación. Si se agrega poca cantidad, no se neutraliza totalmente la carga de la partícula y se eleva la turbiedad. Ahora, si se agrega alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula y se forman gran cantidad de microflóculos con velocidades de sedimentación bajas.

En cuanto a la temperatura, la coagulación se hace más lenta, al variar la temperatura del agua, pues se conduce a la formación de corrientes de densidad. Basta con la variación en un grado de temperatura. Para esto, se debe producir una agitación más intensa y rápida a temperaturas altas (Andía, 2000).

### 2.2.1.2 Acción de los coagulantes en la remoción de partículas coloidales

Hay cuatro tipos de mecanismos de acción de los coagulantes en la remoción de partículas coloidales: compresión de la doble capa, adsorción y neutralización de cargas, por adsorción y por barrido, barradura y por adsorción y formación de puentes (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010).

La compresión de la doble capa se relaciona a la adición de iones de carga contraria a las de las partículas del sistema coloidal a tratar. La desestabilización por un agente coagulante, ocurre por interacciones electrostáticas y entre más sea la cantidad del ion positivo, menor cantidad de coagulante será requerido. Al aumentarse la concentración del ion contrario, la fuerza de repulsión eléctrica puede ser disminuida mientras que la de atracción es fija permitiendo que las partículas puedan acercarse por las fuerzas de atracción de Van Der Waals (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010). En la Figura 2. 1, se ilustra el proceso por medio del cual se neutralizan las fuerzas que mantienen separadas las partículas coloidales.



**Figura 2. 1. Proceso de coagulación**  
Nota: Fuente: (Andía, 2000)

La adsorción se da al agregar el coagulante y al tener contacto con gran cantidad de partículas en suspensión, se da la adsorción de las partículas y el floc se forma casi de forma inmediata. Esto provoca que se den interacciones entre el coagulante-coloide, coagulante-disolvente y coloide-disolvente (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010).

El barrido se produce cuando se agrega una concentración de coagulantes tan alta, que se supera la solubilidad en el agua y se forman hidróxidos por la reacción de la alcalinidad del agua con los coagulantes y se produce una masa esponjosa conocida como “floc de barrido” que atrapa en su caída a los coloides y partículas suspendidas que decantan, provocando su sedimentación (Arboleda 2000).

El mecanismo de adsorción y formación de puentes, se encuentra relacionado al grupo de compuestos orgánicos sintéticos y naturales que se caracterizan por tener grandes cadenas moleculares y pueden presentar sitios ionizables a lo largo de la cadena. Estos se pueden clasificar en catiónicos, aniónicos o no iónicos (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010).

### ***2.2.1.3 Tipos de coagulantes***

Hay coagulantes orgánicos como el quitosano e inorgánicos como las sales de aluminio o de hierro. Durante décadas, se han utilizado los coagulantes inorgánicos debido a su bajo costo. Sin embargo, el utilizar este tipo de coagulantes no es del todo ventajoso, pues se requieren altas dosis de coagulante, lo que produce lodos con alta carga de hidróxidos. Además, **otros** problemas comunes al utilizar coagulantes inorgánicos son: alta sensibilidad al pH, ineficiente ante partículas pequeñas y que es aplicable solo a ciertos tipos de sistemas (Guibal, 2006). **Por otro lado**, los coagulantes orgánicos producen menos cantidad de lodo, forman uniones más estables y se debe dosificar mucho menor cantidad de coagulante (Huang, Li, Li, Yang, & Ran, 2016), además, poseen alta solubilidad en el agua, capacidad de regeneración y reutilización, adsorción, biodegradación, resistencia y fuerza mecánica (Balanta, Grande, & Zuluaga, 2010).

Los polímeros orgánicos sintéticos pueden ser usados ya sea como coagulantes o como floculantes. Los coagulantes poliméricos poseen típicamente una masa molar pequeña y una alta densidad de carga, y actúan sobre los coloides produciendo coagulación por neutralización de cargas. Los floculantes poliméricos poseen alta masa molar y baja densidad de carga, y actúan principalmente formando puentes interpartícula. La coagulación es a menudo favorecida con el uso de ayudantes de la coagulación o floculantes y a veces se añade un exceso del coagulante para favorecer flóculos de gran tamaño y velocidades de sedimentación rápidas. No obstante, en algunos casos aún adicionando excesos de coagulante, no se producen flóculos satisfactorios y es aquí donde se adiciona un floculante para producir flóculos más densos y se reduce la cantidad de coagulante requerido.

Según Jiménez, Quirós, & Vargas, los polielectrolitos naturales se producen por reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas. Están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos (almidón, celulosa, glucósidos, entre otros) y proteínas (por ejemplo caseína, gelatina, olieratina, entre otros). Se ha encontrado que proteínas presentes en semillas de *Moringa oleifera* presentan propiedades coagulantes y floculantes. La toxicidad de este tipo de polímeros en general es mínima o nula.

Los polímeros pueden ser añadidos de tres formas distintas: como coagulantes, como ayudantes de la coagulación y como ayudantes de floculación. El primer caso supone que el electrolito es agregado al agua como único coagulante en lugar del coagulante metálico. Cuando se agrega como ayudante de coagulación, el polímero es añadido antes del coagulante metálico y en el tercero, después del mismo. En los tres, los mecanismos que se desarrollan son diferente (Arboleda 2000).

### 2.2.1.3.1 Coagulante Quitosano

Entre los biopolímeros utilizados en los procesos de coagulación, se encuentra el quitosano. Este proviene de la desacetilización de la quitina (poli- $\beta$ -(1,4)-N-acetil-D-glucosamina), la cual es el componente principal del exoesqueleto de crustáceos e insectos y de las paredes celulares de los hongos, siendo a su vez, el segundo polisacárido más abundante en la Tierra, después de la celulosa. Al pasar por el proceso de desacetilización, la quitina se transforma en quitosano (poli- $\beta$ -(1,4)-D-glucosamina-N-acetil-D-glucosamina), el cual posee características de alto interés como elevada proporción de grupos amino libres, mayor solubilidad comparada con la quitina, biocompatibilidad y biodegradabilidad. Por tanto, se aplica su uso en medicina, cosmetología, agricultura, biotecnología, industria alimentaria, industria papelera, y en el tratamiento de aguas residuales, debido a su facilidad de conversión a polielectrolito (Balanta, Grande, & Zuluaga, 2010).

Según Balanta, Grande, & Zuluaga, la fuente tradicional utilizada para la producción de quitosano a partir de quitina, a nivel industrial, ha sido el material residual de la industria pesquera(exoesqueleto del camarón), lo cual desde el punto de vista ambiental, aprovecha un desecho de la acuicultura (Villalobos, 2011). Además, se le da solución a una problemática para todos los países dedicados a este sector. Por ejemplo, en Colombia, se generan aproximadamente de 24000 a 42000 t/año de residuos, además de ser un material con baja capacidad de degradación (Tafur & Quebedo, 2014).

Sin embargo, debido a las limitantes en temporadas bajas de producción, se han considerado fuentes alternas como el micelio de varias especies de hongos como son los casos del *Mucor rouxii*, *Absidia coerulea*, *Rhizopus orizae* , y *Aspergillus niger* (Balanta, Grande, & Zuluaga, 2010).

El quitosano está definido por su peso molecular y el grado de desacetilización. Los grupos aminos de la larga estructura de la cadena de quitosano, lo convierten en un coagulante catiónico que se protona al entrar en contacto con las superficies en su mayoría negativas, del contaminante (Huang, Li, Li, Yang, & Ran, 2016). Al generarse la desacetilización parcial de la quitina, se producen diferentes tipos de quitosano, con ámbitos de grados de desacetilación y diferentes pesos moleculares, influyendo esto en la distinta solubilidad en medios acuosos. El grado de desacetilación, del quitosano se encuentra en un ámbito aproximado de 70 a 95 % (Tafur & Quebedo, 2014).

El coagulante quitosano como agente coadyudante en tratamiento de aguas residuales, se ha utilizado para tratar suspensiones orgánicas, suspensiones de bentonita, soluciones de tintas aniónicas y soluciones de ácidos húmicos (Guibal et al., 2006). Específicamente, se ha utilizado como coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alta alcalinidad, como floculante para la remoción de partículas coloidales sólidas y aceites de pescado, para remover metales pesados y pesticidas en disoluciones acuosas. Además, algunos polímeros de injerto de quitosano, son efectivos para remover metales pesados y para tratar aguas con tinturas (Velásquez, 2006). Por otro lado, se han evaluado las remociones logradas al utilizar el quitosano en aguas residuales de parámetros como: turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos totales y contenido de cromo (Cr+3) (Tafur & Quebedo, 2014); sin embargo, no se encontraron antecedentes de su aplicación para evaluar la remoción del parámetro de detergentes.

Los grupos aminos presentes en la estructura del quitosano, lo hacen un polielectrolito catiónico natural con pKa de aproximadamente 6.5, las cuales le conceden propiedades muy particulares como ser soluble en medios ácidos o en soluciones neutras. Las principales propiedades del quitosano son el grado de desacetilación, solubilidad, peso molecular y viscosidad, las cuales están estrechamente relacionadas.

El grado de desacetilación es el porcentaje de los grupos amino que quedan libres en la molécula y define importantes propiedades físicas como la viscosidad, solubilidad, biodegradabilidad, hinchamiento y biocompatibilidad y varían dependiendo de la fuente y método de obtención de la quitina, las condiciones de la desacetilación de la misma, así como de los métodos de determinación de las características fisicoquímicas, entre otros (Tafur & Quebedo, 2014).

Cuando se incrementa el grado de acetilación del quitosano aproximándose al 50 %, el intervalo de pH en el que pueda ser soluble aumenta. La versatilidad del quitosano depende mayormente de la protonación de los grupos amino de la molécula, que en medio ácido le confiere un carácter altamente reactivo. El quitosano es normalmente insoluble en soluciones acuosas con pH neutro y alcalino. En cuanto al peso molecular, éste afecta la funcionalidad del quitosano, así como sus propiedades químicas y físicas; pero también ayuda en gran parte a determinar la solubilidad y viscosidad del biopolímero. Además, el quitosano forma soluciones viscosas en varios ácidos orgánicos. La viscosidad intrínseca del quitosano es mayor a la que presentan otros biopolímeros (Tafur & Quebedo, 2014).

Según Tafur y Quebedo, para obtener el quitosano, la extracción a partir de la quitina se puede realizar mediante métodos químicos o enzimáticos; pero la mayor parte de las técnicas desarrolladas usan procesos químicos de hidrólisis de la proteína y remoción de la materia inorgánica, debido a que la quitina se encuentra en sus fuentes naturales asociada a proteínas. En la figura Figura 2. 2, se esquematiza el proceso por medio del cual se obtiene el quitosano a partir de la quitina.



Figura 2. 2. Diagrama de la obtención de la quitina y el quitosano Fuente: Tafur & Quebedo, 2014.

### 2.2.2 Floculación

Es el proceso siguiente a la coagulación. Se basa en la unión de flóculos por medio de la agitación lenta y continua de las partículas coloidales lo que favorece el crecimiento de los flóculos, aumentando su tamaño y peso para poder ser removidos por sedimentación (Crittenden, y otros, 2012).

Los floculantes actúan por la formación de puentes que agrupan los flóculos pequeños formando un floc más grande. Los floculantes también ayudan a formar una coagulación satisfactoria en un mayor ámbito de pH. Es importante resaltar la toxicidad de los polímeros sintéticos, por lo que monómeros que los componen pueden ser tóxicos (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010).

### ***2.2.2.1 Etapas de la floculación***

En la floculación, se presenta la floculación pericinética que se basa en el movimiento browniano de las partículas de agua. Se produce por el movimiento desordenado de los coloides que chocan con las moléculas del agua y se aglomeran. Se presenta en los primeros segundos y no depende del tamaño de la partícula, más si de la agitación.

Posteriormente, se da la floculación ortocinética, la cual consiste en la colisión de las partículas coloidales debido al movimiento del agua por la agitación mecánica o hidráulica que causa turbulencia y el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones. Esto afecta el resto del proceso de floculación, produciéndose los micro flóculos (Restrepo, 2009).

### ***2.2.2.2 Factores que influyen en la floculación***

Entre los factores que influyen en la floculación se encuentra la composición del agua. Esto afecta la velocidad y el tiempo del proceso de floculación. Además, los iones en disolución en el agua, alteran el equilibrio del proceso (Tafur & Quebedo, 2014).

Otro factor a tomar en cuenta es el tiempo de agitación, el cual es relacionado proporcionalmente a la velocidad de aglomeración entre las partículas. Se debe de tomar en cuenta que, si el tiempo de agitación es muy largo, dará como resultado la desestabilización y posible rotura de los flóculos formados, liberando las partículas coloidales y dificultando su aglomeración (Restrepo, 2009).

Como en la floculación se busca el aumento del tamaño de los flóculos, las partículas pueden unirse en función del gradiente de velocidad que existe y siendo este diferencial la fuente de la fuerza de unión, por lo que si el tiempo de agitación es menor o mayor al ideal, se obtendrán bajas eficiencias (Tafur & Quebedo, 2014).

### ***2.2.2.3 Tipos de floculantes***

Los floculantes son polímeros con altos pesos moleculares y consisten en moléculas orgánicas solubles en agua que favorecen el proceso de floculación bien sea aumentando la velocidad del proceso o mejorando la calidad del flóculo formado. Los floculantes pueden ser minerales, orgánicos natural u orgánicos sintéticos. Los floculantes orgánicos, son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Los orgánicos de síntesis son macromoléculas de gran cadena (Tafur & Quebedo, 2014).

En cuanto a los floculantes minerales, el más importante es la sílice activada, el primer floculante empleado. Los floculantes orgánicos naturales, son polímeros naturales obtenidos de sustancias o compuestos animales o vegetales. En este grupo se encuentran los alginatos (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010).

Por último, los floculantes orgánicos de síntesis, son los más empleados y son macromoléculas de cadena larga y se clasifican en catiónicos, aniónicos y neutros o no iónicos (Tafur & Quebedo, 2014). Tienen altos pesos moleculares y una alta densidad de carga. Su acción es producir coagulación por neutralización de cargas y actúan principalmente formando puentes interpartícula. La coagulación es a menudo favorecida con el uso de ayudantes de la coagulación o floculantes. Cuando ni aún altas dosis de coagulante, producen coágulos satisfactorios, se añade el floculante, para producir flóculos más densos y así reducir la cantidad de coagulante requerido (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010).

Según Jiménez, Quirós, & Vargas, (2010), entre las ventajas de utilizar el floculante, posterior al coagulante es que se facilita la formación de puentes entre partículas que unen flóculos pequeños en grandes, que a su vez sedimentan más rápido. Otra ventaja es que los floculantes tipo PAC, permiten un mayor ámbito de pH para condiciones óptimas.

#### **2.2.4.1 *Floculante Callaway 4893***

El floculante Callaway 4893, es un polímero orgánico sintético catiónico en emulsión. Posee alto peso molecular y alta densidad de carga.

#### **2.2.4.2 *Floculante Hidroxicloruro de aluminio***

El Hidroxicloruro de Aluminio, pertenece a una nueva generación de coagulantes inorgánicos prepolimerizados que presentan mejor desempeño que los coagulantes convencionales como el Sulfato de aluminio o el cloruro férrico. Se utilizan ampliamente en el tratamiento de agua potable y residual, especialmente en Europa y Asia (Cogollo, 2010).

Según Cogollo,(2010), este tipo de floculantes se escogen debido a su desempeño superior en remoción de materia orgánica y partículas en suspensión. Se menciona que sus mecanismos de coagulación no han sido estudiados ampliamente. Además, este tipo de floculantes, tiene diferentes fases sólidas en las reacciones hidrolíticas, con respecto de los floculantes convencionales, pues forman estructuras tipo cadena con tamaño menor a 25 mm, mientras que los flóculos de sulfato de aluminio son estructuras esponjosas y porosas con tamaño de 25 a 100 mm, produciendo menor turbiedad.

El pH óptimo de funcionamiento de los PAC está entre 5,0 y 9,0 dependiendo del contenido de carbono orgánico disuelto en el agua. Permiten que la cinética sea más rápida con estos floculantes, además, se disminuyen los efectos de la temperatura y el pH, respecto de los floculantes convencionales (Cogollo, 2010). Los PAC generan menos residuo de aluminio en el lodo, reducen la cantidad de lodo producido y los costos de producción.

### **2.2.3 Simulación del proceso de coagulación-floculación**

Las pruebas de coagulación-floculación, consisten en imitar en jarras, beakers o vasos de precipitado, el proceso de coagulación producido en el sistema de tratamiento (Cervantes, Landero, Morales, Pacheco, & Rosano, 2012).

La finalidad de dichas jarras, es evaluar el funcionamiento de los ensayos (Jiménez, Quirós, & Vargas, 2010). Se determina el funcionamiento de las pruebas de jarras valoradas por medio de un agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia simultánea en 6 vasos de precipitado (Arboleda, 2000).

Para implementar este proceso, se necesita planificación previa. Se deben conocer a fondo las características del producto y su futuro comportamiento a través de múltiples ensayos de pruebas de jarras, los cuales simulan los procesos químicos y mecánicos del proceso de coagulación-floculación (Cogollo, 2010).

### 3 METODOLOGÍA

Se escogieron tres sodas con diferente número de almuerzos servidos: Soda TEC (Comedor Institucional), Soda Casa Luna y Soda ASETEC. Los restaurantes se ubican dentro de las instalaciones del Campus Universitario del Tecnológico de Costa Rica, en la zona del distrito 01 Oriental y 09 Dulce Nombre, del cantón 01 Cartago, provincia 03 Cartago. En la Figura 3. 1, se detalla la ubicación del proyecto realizado.



Figura 3. 1. Ubicación del proyecto dentro del Campus del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central. Tomado de (Departamento de Ingeniería, 2016)

El estudio se llevó a cabo, debido a la falta de un sistema de tratamiento secundario en la salida del sistema primario que trata el efluente de las sodas-comedor. Las pruebas realizadas fueron desarrolladas en el Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) y en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Sede Central del Tecnológico de Costa Rica.

En la Figura 3. 2, se esquematizan las entradas y salidas del proceso de tratamiento primario de trampa de grasa y se ubica el posterior posible tratamiento secundario a base de coagulación-floculación. Además, se señalan las características medidas en las aguas de entrada y salida a la trampa de grasa, así como en las aguas de salida de coagulación-floculación que recibe el receptor final.

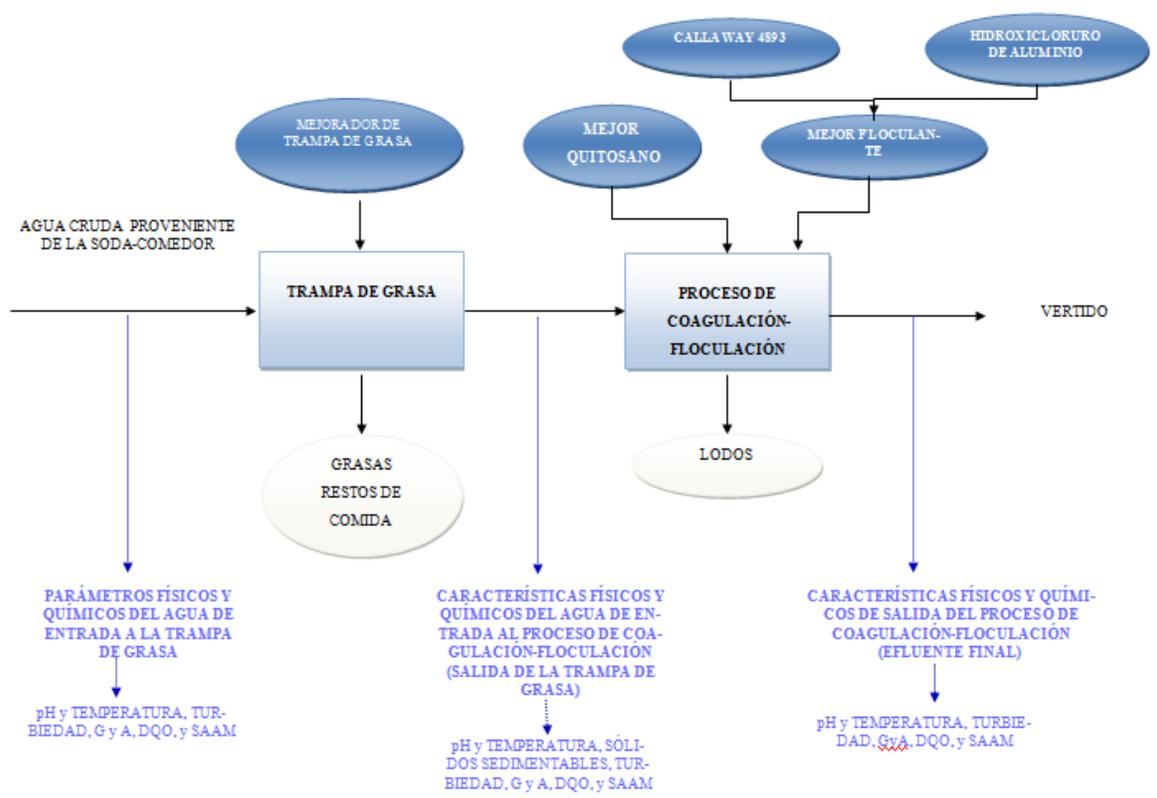


Figura 3. 2. Diagrama del sistema de tratamiento primario actual y posible tratamiento secundario; detalle de las mediciones de caracterización de las AR

En esta sección, se realiza una breve descripción de cómo se desarrolló el proyecto en estudio para determinar el porcentaje de remoción de SAAM en aguas residuales de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica.

### 3.1 ESTADO ACTUAL DE LAS TRAMPAS DE GRASA Y MEDICIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS AR EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LAS MISMAS

Las condiciones generales de operación y composición de las trampas de grasa de las sodas-comedor escogidas, fueron valoradas para determinar las variaciones que pueden influenciar en el comportamiento del efluente a tratar por el proceso de coagulación-floculación.

#### 3.1.1 Estado actual del sistema de tratamiento primario para las sodas-comedor en estudio: trampas de grasa

Se realizaron entrevistas a los encargados del área de cocina de las tres sodas-comedor en estudio para estimar el número de almuerzos servidos en cada una de ellas. Además, se visitaron en campo las áreas de cocción de los restaurantes, en donde se observaron las diferentes prácticas de cada una de las sodas, así como las estructuras de las trampas de grasa y condiciones propias de cada uno de los sistemas analizados. Los datos recopilados sobre las prácticas de lavado se detallan en el Apéndice 3.

Se obtuvo la colaboración del encargado de mantenimiento y limpieza de las trampas de grasa de las sodas-comedor, tanto en el proceso de muestreo así como para la valoración del proceso de limpieza del tratamiento existente.

### **3.1.2 Caracterización del efluente en la entrada y salida del proceso de tratamiento actual (trampa de grasa) para las sodas en estudio**

Para determinar los parámetros de los componentes de las aguas residuales crudas de las sodas- comedores, así como las características del efluente de las trampas de grasa, fueron realizados muestreos simples puntuales en hora pico de las aguas residuales de las sodas-comedor.

Las muestras fueron colectadas tanto en la entrada como en la salida de las trampas de grasa de las sodas. Se almacenaron, según lo requerido para cada prueba acorde a lo establecido en el Standar Methods (HAPA, 2012). Los detalles de los muestreos tales como: fecha de muestreo, pH, temperatura y ubicación, se tabularon en el Cuadro A.1. 1, del Apéndice 1.

Los caudales de las aguas residuales en estudio, fueron calculados acorde al número de almuerzos estimados para cada una de las sodas-comedor. El caudal se estimó por medio de lo estipulado por (Iberian, 2017), en donde se relaciona el número de almuerzos con el caudal esperado. El caudal insitu fue medido para la soda TEC, pues en ésta, la estructura de la trampa de grasa así lo permitió por el método volumétrico.

Las características de las aguas residuales de las sodas-comedor en estudio, fueron medidas en la entrada y salida de las trampas de grasa del sistema de tratamiento primario. Las características medidas fueron: pH, temperatura, turbiedad, sólidos sedimentables, grasas y aceites, SAAM y DQO. Se detallaron las mediciones realizadas en la Figura 3. 2. Las mediciones de las características fueron realizadas por cuadruplicado en la mayoría de los casos.

### 3.1.2.1 Características Físico-químicas

El pH y temperatura fueron medidos insitu en las entradas y salidas de la trampa de grasa, con equipo portátil HI98127 marca *HANNA INSTRUMENTS* y los valores de dichos parámetros en laboratorio fueron medidos con un equipo Fisher Scientific AB15+.

La turbiedad, se midió siguiendo el método 2130B señalado por el Standar Methods, con el equipo lector, marca *Orbeco Hellige*.

Los sólidos sedimentables, fueron determinados según el método 2540 F del Standar Methods, por ensayo volumétrico en el cual se utilizaron seis conos Imhoff. Las muestras no fueron preservadas.

Las grasas y aceites se midieron siguiendo el método 5520C del Standar Methods. Se modificó el hexano por una mezcla proporcional en concentración de hexano-cloroformo 60:40. (Deloya, 2016). Las muestras para estos análisis, se recolectaron en envase de vidrio de boca ancha y se preservaron a  $\text{pH} < 2$  por adición de HCl

Las sustancias activas al azul de metileno, fueron determinadas por el método 5540C del Standar Methods, valorado con el Test Kit de detergentes Modelo DE-2, Catálogo Número 1432-03, el cual incluye los reactivos necesarios, excepto el cloroformo. Los muestreos para estas pruebas, fueron simples puntuales y las pruebas fueron realizadas por cuadruplicado. Se utilizó envases de vidrio para su almacenamiento a, a un  $\text{pH} < 2$  por adición de ácido sulfúrico concentrado.

Debido a la alta cantidad de SAAM en la muestra, se debieron hacer disoluciones con cloroformo para poder hacer la lectura del valor. En algunas muestras, se emulsificó la muestra.

Las pruebas de demanda química de oxígeno DQO, se realizaron basadas en el método 5220D del Stándar Methods, medidas con el Equipo Lovibond md-100. El muestreo para estas pruebas fue puntual, con muestras por cuadruplicado.

### 3.2 DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE CON EL MEJOR QUITOSANO Y SUS CONDICIONES ÓPTIMAS DE COAGULACIÓN

El tratamiento por coagulación-floculación fue el método utilizado en la evaluación del quitosano como coagulante en aguas residuales procedentes de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica.

Las pruebas de coagulación se realizaron en equipo de jarras analógico, marca *Phipps & Bird* PB-700 con seis jarras y se midieron los tiempos de coagulación, floculación y sedimentación con cronómetro.

Los quitosanos utilizados para las pruebas de coagulación fueron elaborados para otro proyecto en el POLIUNA de la Universidad Nacional y fue caracterizado en el CENIBIOT (grado de desacetilización y peso molecular). El coagulante fue disuelto en HCl en su preparación. Los Quitosanos utilizados, según su P.M, se muestran en el Cuadro 3. 1. En el apéndice 2, se detalla la forma en la que se obtuvieron los quitosanos a partir de la quitina. El quitosano con el mayor peso molecular, fue el quitosano D, 400 kDalton. Este fue adquirido de Sigma Aldrich. El quitosano con el menor peso molecular, fue el quitosano C, 30 kDalton. El quitosano A tuvo peso molecular de 170 kDalton, siendo este el escogido como el de mejor funcionamiento.

**Cuadro 3. 1. Nombre de los quitosanos utilizados y su origen**

Nombre Quitosano	Peso Molecular (kDa)	Origen
A	170	POLIUNA
C	30	
D	400	Sigma Aldrich

Para determinar el quitosano con el mejor comportamiento entre los resumidos en el Cuadro 3. 1, se realizaron procedimientos de coagulación-floculación por medio de pruebas de jarras resumidas en el Cuadro 3. 2. Las pruebas fueron realizadas por duplicado para cada uno de los tres coagulantes. Se varió la dosis aplicada entre 6,0 y 10,0 mg/L en el proceso de coagulación, a 220 RPM y agitándolo por veinte minutos. En el proceso de floculación, se dosificaron todas las pruebas con 10,0 mg/L de Hidroxicloruro de Aluminio al 1%, diluido cuatro veces a 160 RPM por 3 minutos y se dejaron sedimentar las pruebas por 30 minutos.

**Cuadro 3. 2. Prueba de coagulación-floculación para determinar el mejor coagulante con floculante Hidroxicloruro de Aluminio a volúmenes de jarras de un litro**

núm. Jarra						
pH	6,2	6,3	6,4	6,5	6,3	6
Quitosano usado	A	C	D	A	C	D
Dosis quitosano (mg/L)	10,0	10,0	10,0	6,0	6,0	6,0
RPM coagulación	220	220	220	220	220	220
Tiempo de coagulación (minutos)	20	20	20	20	20	20
Dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio (mg/L)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
RPM floculación	160	160	160	160	160	160
Tiempo de floculación (minutos)	3	3	3	3	3	3
Tiempo de sedimentación (minutos)	30	30	30	30	30	30

El valor de pH óptimo, se analizó por medio de pruebas de coagulación-floculación a diferentes pH's, ajustando ácido clorhídrico o hidróxido de sodio, según el caso. La prueba se muestra en el Cuadro 3. 3. Se mantuvo la dosis de coagulante en 10,0 mg/L a 220 RPM y agitándolo por veinte minutos. En el proceso de floculación, se dosificaron la mitad de las jarras con 10,0 mg/L de Hidroxicloruro de Aluminio a 220 RPM y la mitad de las jarras sin floculante por 15 minutos y se dejaron sedimentar las pruebas la mitad por veinte minutos y la otra por seis minutos. Se observó que al no agregar la dosis de floculante se obtuvo mucho punto de alfiler.

**Cuadro 3. 3.Prueba de coagulación-floculación para valorar el pH con coagulante Quitosano A y floculante Hidroxicloruro de Aluminio a volúmenes de jarras de un litro**

Jarra	1	2	3	4	5	6
pH	6,6	7,5	8	6,6	7,5	8
Dosis coagulante quitosano (mg/L)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
RPM coagulación	220	220	220	220	220	220
Tiempo de coagulación (minutos)	20	20	20	20	20	20
Tiempo de sedimentación (minutos)	20	20	20	6	6	6
Dosis floculante (mg/L)	Sin floculante			10,0	10,0	10,0

**Fecha: 12 de abril, 2016**

Para valorar las revoluciones por minuto de coagulación óptimas para el proceso de coagulación-floculación, se realizó la prueba detallada en el Cuadro 3. 4. En ésta, la dosis de coagulante se varió entre 10,0 y 30,0 mg/L y se mantuvo en tres minutos el tiempo de agitación de coagulación. Las RPM, se variaron entre 160 y 195 RPM.

**Cuadro 3. 4. Prueba de coagulación-floculación con variaciones de RPM de coagulación, con coagulante Quitosano A y floculante Hidroxicloruro de Aluminio a volúmenes de jarras de un litro**

Soda	TEC				Casa Luna				ASETEC			
N° replica	1		2		1		2		1		2	
Ph	7,22				6,38				6,11			
	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c
Dosis de Quitosano (mg/L)	10,0	5,0+5,0	10,0	5,0+5,0	10,0	5,0+5,0	10,0	-	30,0	5,0+5,0+10,0+5,0	30,0	-
RPM coagulación	185	160	160	160	195	160	160	-	195	195	160	-
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	3		3		3		3		3		3	
Tiempo de sedimentación (minutos)	10		10		10		10		10		10	

Fecha: 25 de mayo, 2016

Nota: Las dosis de quitosano con (+) indica que se fue dosificando parcialmente.

### 3.3 SELECCIÓN DEL MEJOR FLOCULANTE Y MEJORES CONDICIONES

Los floculantes utilizados en el proceso de coagulación-floculación, se resumen en el Cuadro 3. 5.

**Cuadro 3. 5. Características de los floculantes utilizados en el proceso de coagulación-floculación**

Floculante	Características	Proveedor
Callaway4893 al 1%	Floculante de alto peso molecular	Durman Esquivel
Hidroxiclورو de Aluminio al 1%	Floculante de nueva generación	Servicios y tratamientos químicos T.Q S.A

#### 3.3.1 Floculante Callaway 4893

Las pruebas de jarras realizadas con el proceso de coagulación-floculación con el floculante Callaway 4893 al 1%, se detallan en el Cuadro 3. 6. En esta prueba, se probaron dosis entre 1,3 y 11,0 mg/L de floculante a 130 y 170 RPM. La dosis de quitosano se varió entre 10,0 y 20,0 mg/L a 220 RPM de coagulación y se varió el tiempo de coagulación entre cinco y diez minutos. Se dejaron sedimentar las muestras por cinco minutos.

**Cuadro 3. 6. Prueba de coagulación-floculación utilizando como coagulante quitosano A y floculante Callaway 4893 a volúmenes de jarras de un litro.**

num jarra						
pH	5,90					
Dosis quitosano A (mg/L)	20,0			10,0		
RPM coagulación	220					
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	10			5		
Dosis floculante Callaway 4893 al 1% (mg/L)	1,3			11,0		
Tiempo de agitación floculación (minutos)	5			3		
RPM floculación	130			170		
Tiempo de sedimentación (minutos)	5					

### 3.3.2 Floculante Hidroxicloruro de Aluminio

Se desarrollaron pruebas de jarras como procedimiento de coagulación- floculación con el floculante Hidroxicloruro de Aluminio. Las condiciones bajo las cuales fueron realizadas las pruebas, se resumen en el Cuadro 3. 7, en donde se variaron las dosis de coagulante quitosano al 1% entre 6,0 y 10,0 mg/L y la dosis de Floculante Hidroxicloruro de Aluminio al 1% sin diluir que se varió entre 1,6 y 2,2 mg/L.

**Cuadro 3. 7. Pruebas de coagulación-floculación con floculante Hidroxicloruro de Aluminio sin diluir, para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica a volúmenes de jarras de un litro**

Soda	TEC			Casa Luna			ASETEC 10 mayo			ASETEC 11 mayo		
pH	5,54			6,30			6,0			7,40		
Núm. de réplicas por soda	3											
Dosis quitosano A (mg/L)	1 c	2 c	3 c	1 c	2 c	3 c	1 c	2 c	3 c	1 c	2 c	3 c
	10,0	6,0	-	10,0	6,0	-	10,0	10,0	6,0	10,0	6,0	-
RPM coagulación	220			220			220			220		
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	3			3			3			3		
Dosis Hidroxicloruro de Aluminio (mg/L)	1c	2c	3c	1c	2c	3c	1c	2c	3c	1c	2c	3c
	2,2	1,6	-	2,2	1,6	-	2,2	2,2	1,6	2,2	1,6	2,2
Tiempo de agitación floculación (minutos)	3			3			3			3		
RPM floculación	170			170			170			170		
Tiempo de sedimentación (minutos)	10			10			10			10		

**Nota: Muestreo 10 mayo**

Se diluyó el floculante Hidroxicloruro de Aluminio 10 veces para mejorar su comportamiento en el proceso de coagulación-floculación. Los parámetros de las pruebas realizadas, se detallan en el Cuadro 3. 8. En esta, se mantuvo una dosificación de coagulante quitosano al 1% de 10,0 mg/L a 220 RPM de coagulación por tres minutos y la dosis de Hidroxicloruro de Aluminio diluido 10 veces se varió entre 1,0 y 6,25 mg/L de Hidroxicloruro de Aluminio a revoluciones entre 110 y 170 RPM por tres minutos.

**Cuadro 3. 8. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano como coagulante y como floculante Hidroxicloruro de Aluminio diez veces diluido, a volúmenes de jarras de un litro.**

Soda	TEC			Casa Luna			ASETEC		
pH	5,54			6,30			6,0		
Núm. de réplicas por soda	2								
Dosis <b>quitosano</b> A (mg/L)	1 c	2 c	3 c	1 c	2 c	3 c	1 c	2 c	
	10,0	-	-	10,0	-	-	10,0	-	-
RPM coagulación	220			220			220		
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	3								
Dosis Hidroxicloruro de Aluminio (mg/L)	1c	2c	3c	1c	2c	3c	1c	2c	3c
	1	6,25	1,25	1	1,25	1,25	1	1	-
Tiempo de agitación floculación (minutos)	3			3			3		
RPM floculación	1c	2c	3c	1c	2c	3c	1c	2c	3c
	170	140	110	170	100	100	170	100	-
Tiempo de sedimentación (minutos)	10			10			10		

**Nota: Muestreo 10 mayo. Prueba realizada el 12 de mayo**

Se detallan las variaciones en la dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio, diluido diez veces. Las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo la prueba se muestran en el

Cuadro 3. 9. Se varió la dosis de coagulante entre 10,0 y 20,0 mg/L de quitosano al 1% a 220 RPM por tres minutos de coagulación. En la floculación, se varió la dosis de floculante entre 3,0 y 7,5 mg/L de Hidroxicloruro de Aluminio al 1% a 90 RPM por tres minutos, dejando sedimentar por diez minutos.

**Cuadro 3. 9. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano como coagulante y como floculante Hidroxicloruro de Aluminio diez veces diluido, a volúmenes de jarras de un litro.**

Soda	TEC				Casa Luna				ASETEC			
N° replica	1		2		1		2		1		2	
pH	5,54				6,30				6,0			
Dosis de Quitosano (mg/L)	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c
	10,0	-	10,0	-	20,0		10,0	+20,0	10,0	+10,0	10,0	-
RPM coagulación	220		220		220		220		220		220	
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	3		3		3		3		3		3	
Dosis Floculante (mg/L)	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c
	4,25	+3,0	7,5	+3,0	4,25	-	4,25	+3,0	4,25	3,0	7,5	-
Tiempo de agitación floculación (minutos)	3		3		3		3		3		3	
RPM floculación	90		90		90		90		90		90	
Tiempo de sedimentación (minutos)	10		10		10		10		10		10	

**Nota: Prueba realizada el 13 de mayo, 2016**

**Nota: Las dosis de quitosano con (+) indican que se dosificó de forma parcial.**

Además, para valorar el efecto de la dilución del Hidroxicloruro de Aluminio, se diluyó cuatro veces. Los detalles de la prueba de coagulación se muestran en el

Cuadro 3. 10, en donde se variaron las dosis de coagulante al 1% entre 20,0 y 30,0 mg/L a 160 RPM por tres minutos. Se dosificó floculante al 1% con dosificaciones de 10,0 mg/L y se variaron las RPM de floculación entre 75 y 90 RPM a tres minutos de agitación con diez minutos de sedimentación.

**Cuadro 3. 10. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano A como coagulante y como floculante Hidroxicloruro de Aluminio cuatro veces diluido, a volúmenes de jarras de un litro.**

Soda	TEC				Casa Luna				ASETEC				
N° replica	1		2		1		2		1		2		3
pH	5,54				6,30				6,0				
Dosis de Quitosano (mg/L)	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c
	30,0	-	20,0	-	30,0	-	20,0	-	30,0	-	30,0	-	20,0
RPM coagulación	160												
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	3												
Dosis Floculante (mg/L)	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c
	10,0	-	10,0	-	10,0	-	10,0	-	10,0	-	10,0	-	10,0
Tiempo de agitación floculación (minutos)	3												
RPM floculación	90				90				75				
Tiempo de sedimentación (minutos)	10												

Para las muestras de las pruebas de coagulación-floculación con las mejores variables del tratamiento por coagulación, se midieron las características físicas y químicas de influencia, determinadas bajo los mismos procedimientos que los de entrada: DQO, SAAM, grasas y aceites y Turbiedad y se obtuvieron los porcentajes de remoción del proceso de coagulación-floculación.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el apartado siguiente, se describen los resultados del estudio de las aguas residuales de tres sodas-comedor: soda TEC, Casa Luna y soda ASETEC, ubicadas en la sede del Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Se resumen las condiciones actuales de funcionamiento de las trampas de grasa de los restaurantes, así como sus características físicas y químicas tanto del efluente crudo de la soda, como los componentes del agua residual posterior a cada una de las trampas de grasa en contenido de materia orgánica (DQO), Grasas y Aceites (GyA), Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Sólidos Sedimentables (SSed), Turbiedad, pH y Temperatura. Se presentan los resultados de condiciones de coagulación óptimas con el mejor coagulante y de igual forma para el mejor floculante a condiciones óptimas de floculación. Además, se evalúa la remoción de detergentes por el proceso de coagulación-floculación y cómo se afectan otras eficiencias de grasas y aceites, DQO y turbiedad de las aguas residuales analizadas, por medio de la medición de los componentes en estudio en la salida del proceso de coagulación-floculación.

### 4.1 ESTADO ACTUAL DE LAS TRAMPAS DE GRASA EN ESTUDIO

En general, las tres sodas- comedores operan de manera diferente en sus labores rutinarias. Sus prácticas, como uso diferente de detergentes, cantidad de almuerzos servidos por día, capacidad, métodos de limpieza de utensilios, uso del agua y tipos de trampa de grasa, varían para los tres casos. Los detalles de las prácticas recopiladas de las tres sodas-comedor, se detallan en el Apéndice 3.

La trampa de grasa de la **Soda TEC**, comedor institucional, recibe las aguas del sistema de lavado convencional de la soda, así como las aguas residuales del extractor de grasa. La ubicación de la TG en el diagrama general de cada soda comedor, se detalla en el Anexo 1.

Las aguas residuales del lavado, entran en un primer tanque, la cual se encarga de realizar el proceso de sedimentación de la materia a precipitar. En la parte superior se agrupan las grasas, las cuales, son posteriormente removidas en el proceso de limpieza de la trampa de grasa. Después, se dirige el agua al segundo tanque, de donde no se tiene claro hacia dónde se dirige. Se recomienda realizar una prueba de trazabilidad para determinar el punto de descarga correcto del efluente, porque no se sabe si descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales del Tecnológico de Costa Rica o a la quebrada que pasa aledaña a la institución. El sistema se ilustra en la Figura 4. 1.



**Figura 4. 1. Diagrama de la TG de la Soda TEC.**

A esta trampa de grasa, se le aplica por medio de dosificación controlada, solución digestora de la marca BIOKEM (grease gone) para mejorar el proceso. Cuando se limpia la trampa de grasa, se genera alrededor de un estañón y medio de una mezcla que resulta entre remover la capa superficial de grasa acumulada con la comida y desechos sedimentados en el fondo.

La trampa de grasa de la Soda **Casa Luna**, es un sistema adquirido, la cual ya se compra lista para su instalación. Consiste en un tanque en donde ingresan las aguas residuales y en la parte de arriba se almacenan las grasas, pasando después a otra unidad, que direcciona las aguas a la salida. Similiar a la soda TEC, se cree no están conectadas al alcantarillado, por lo que se sugiere realizar la prueba de trazabilidad también. En el Anexo 1, se detalla la ubicación de la TG en la zona aledaña a la Soda Casa Luna.

Debido a su tamaño y abertura de arriba, es más difícil de limpiar. Se genera alrededor de medio estañón en su limpieza. El sistema donde se realizó el muestreo se detalla en la Figura 4. 2.



**Figura 4. 2.Sistema de TG de la Soda Casa Luna**

La trampa de grasa de la soda **ASETEC** es la de menor tamaño. Se compone de dos tanques: en uno ingresa el agua residual para sedimentar las partículas de mayor peso y hacer sobrenadar las grasas y en el otro tanque, las AR son dirigidas al punto por comprobar con la prueba de trazabilidad de salida final. El sistema de tratamiento se ilustra en la Figura 4. 3.



**Figura 4. 3. Sistema de tratamiento de la TG de la Soda ASETEC.**

La limpieza de las trampas de grasa se realiza en promedio cada quince días. Sin embargo, el encargado del mantenimiento señaló durante los muestreos que debido a la falta de personal se atrasa la limpieza hasta realizarla cada mes. De este factor depende la cantidad de DQO y grasas/aceites presentes en la muestra y a su vez, afecta la eficiencia de remoción general del sistema de tratamiento por coagulación-floculación evaluado (Crites & Tchobanoglus, 2000). Los residuos producto de la limpieza de las trampas de grasa, son recibidos por la empresa GeoCycle para ser procesados como combustible.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE LAS TRAMPAS DE GRASA ACTUALES

Los efluentes de las sodas-comedor estudiadas, fueron caracterizados tanto antes como después de las trampas de grasa en contenido de materia orgánica (DQO), Grasas y Aceites (GyA), detergentes (SAAM), Sólidos Sedimentables (SSed), Turbiedad, pH y Temperatura. Además, se realizaron mediciones de caudal insitu por técnica de llenado de un volumen conocido en un tiempo determinado para la Soda TEC. Los datos de caudal promedio obtenidos, se resumen en el Cuadro A.1.2, Apéndice 1.

Los datos de caudal promedio, según el número de almuerzos y considerando un consumo de 10L/por almuerzo servido por día (Iberian, 2017), se resumen en el Cuadro 4.1.

**Cuadro 4. 1. Caudal promedio estimado para tres sodas-comedor, ubicadas en la sede central del Tecnológico de Costa Rica**

Soda	TEC	Casa Luna	ASETEC
Número de almuerzos	2000	1000	500
Caudal de entrada al sistema de tratamiento de agua residual (m <sup>3</sup> /día)	20	10	5

Según el Cuadro 4.1, el caudal máximo de entrada al sistema de tratamiento fue de 20 m<sup>3</sup>/día, para la soda TEC. El caudal mínimo fue de 5 m<sup>3</sup>/día para ASETEC y el caudal para la soda Casa Luna fue de 10 m<sup>3</sup>/día. Si se considera lo señalado por la reforma al Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales y Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento del Ministerio de Salud N° 36304 S-MINAET, en donde se incluyen las AR de las sodas-comedor, se determina que a este tipo de sodas-comedor, se les excluye de presentar reportes operacionales.

Sin embargo, se señala la necesidad de verter caudales mensuales menores a treinta metros cúbicos y contar con unidades separadoras de grasa en tamaño y unidades necesarias para el caudal a tratar (S-MINAET, 2006).

Se caracterizaron las aguas residuales de entrada y salida a las trampas de grasa estudiadas, en términos de parámetros físicos y químicos.

#### 4.2.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos para las tres sodas-comedor en estudio, se resumen en el Cuadro 4.2. Los valores fueron medidos para la entrada y salida al sistema de tratamiento primario de cada una de las tres sodas-comedor. Los parámetros físicos medidos fueron: sólidos sedimentables, turbiedad y temperatura.

**Cuadro 4. 2. Parámetros físicos medidos en las entradas y salidas de las trampas de grasa de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica**

Parámetro	Soda TEC		Soda Casa Luna		Soda ASETEC	
	Entrada TG	Salida TG	Entrada TG	Salida TG	Entrada TG	Salida TG
Sólidos sedimentables (mL/L)	N.M	2,1 <sup>a</sup> ±0,5 <sup>b</sup>	N.M	38,7 <sup>a</sup> ±0,5 <sup>b</sup>	N.M	14,5 <sup>a</sup> ±0,5 <sup>b</sup>
Temperatura (°C)	30,60 <sup>a</sup> ± 0,01 <sup>b</sup>	26,10 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	22,10 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	22,50 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	21,70 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	21,60 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>
Turbiedad (NTU)	87 <sup>a</sup> ±2 <sup>b</sup>	161 <sup>a</sup> ±3 <sup>b</sup>	155 <sup>a</sup> ±3 <sup>b</sup>	154 <sup>a</sup> ±3 <sup>b</sup>	Fuera de ámbito	Fuera de ámbito

**Nota:** <sup>a</sup>valor promedio. <sup>b</sup>Incertidumbre

#### **4.2.1.1 Temperatura**

En la soda TEC, al ser la única que involucra un aumento de temperatura en sus labores de operación, la temperatura promedio fue la mayor de las tres sodas, con un valor de entrada a la trampa de grasa de  $(30,60 \pm 0,01)^\circ \text{C}$ , disminuyendo este en la salida de la TG a un valor promedio de  $(26,10 \pm 0,01)^\circ \text{C}$  para soda TEC, lo cual es importante para la efectiva remoción de grasas y aceites y el correcto funcionamiento del coagulante quitosano (Huang, Li, Li, Yang, & Ran, 2016).

La temperatura promedio para la soda Casa Luna, en la entrada de la trampa de grasa fue de  $(22,10 \pm 0,01)^\circ \text{C}$ , el cual se mantuvo similar a la salida de la trampa de grasa con valor promedio de  $(22,50 \pm 0,01)^\circ \text{C}$ .

En el caso de la soda ASETEC, la temperatura promedio de entrada a la trampa de grasa fue de  $(21,70 \pm 0,01)^\circ \text{C}$  y para la salida de la trampa de grasa fue de  $(21,60 \pm 0,01)^\circ \text{C}$ .

El proceso de floculación se ve afectado por la temperatura del agua a tratar, bajando la eficiencia porque el polímero se hidroliza. Sin embargo, al utilizar polímeros de nueva generación como el Hidroxicloruro de Aluminio, se tiene menos afectación de la temperatura en la eficiencia de coagulación (Cogollo, 2010).

#### **4.2.1.2 Turbiedad**

Las aguas residuales que entran al sistema de tratamiento primario, presentaron valores de turbiedad altos, no mesurables con el equipo de medición utilizado para el caso de la soda ASETEC. El valor para Casa Luna fue de  $(155 \pm 3) \text{NTU}$  y  $(87 \pm 2) \text{NTU}$  para soda TEC, siendo este último el valor más bajo reportado.

La turbiedad de las muestras de las aguas residuales de las sodas- comedor, posteriores a las trampas de grasa, denotan valores similares tanto en la entrada de la trampa de grasa (ver Cuadro 4. 2), como en la salida de la trampa de grasa. El valor máximo para la salida de la trampa de grasa fue de  $(161 \pm 3)$  NTU para soda TEC, aumentándose así la turbiedad para esta trampa de grasa, mientras que el valor mínimo fue de  $(154 \pm 3)$  NTU para soda Casa Luna.

El hecho de poseer niveles de turbiedad mayores y similares a la salida respecto de la entrada de la trampa de grasa, se considera está relacionado con la falta de limpieza de las trampas de grasa.

#### ***4.2.1.3 Sólidos sedimentables***

Los sólidos sedimentables, fueron medidos en las aguas residuales de la salida de la trampa de grasa. El valor máximo medido para soda Casa Luna, fue de  $(38,7 \pm 0,5)$  mL/L y el valor mínimo fue de  $(2,1 \pm 0,5)$  mL/L para Soda TEC. El valor para la soda ASETEC se determinó en  $(14,5 \pm 0,5)$  mL/L. Se observa, que no se cumple la norma de vertido para ninguno de los efluentes de las sodas-comedor.

#### **4.2.2 Parámetros químicos**

Los parámetros químicos para las aguas residuales de las entradas y salidas de las trampas de grasa de las tres sodas-comedor en estudio, se resumen en el Cuadro 4. 3.. Los parámetros medidos fueron: pH, grasas y aceites, DQO y SAAM.

**Cuadro 4. 3. Parámetros químicos medidos en las entradas y salidas de las trampas de grasa de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica**

Parámetro	Soda TEC		Soda Casa Luna		Soda ASETEC	
Muestra tomada de:	Entrada TG	Salida TG	Entrada TG	Salida TG	Entrada TG	Salida TG
pH	9,70 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	6,10 <sup>a</sup> ±0,0 1 <sup>b</sup>	10,00 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	6,60 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	6,10 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	5,30 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>
Sustancias activas al azul de metileno SAAM (mg/L)	7,50 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>	2,90 <sup>a</sup> ±0,0 5 <sup>b</sup>	57,00 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>	22,50 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>	46,50 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>	18,50 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>
Grasas/Aceites (mg/L)	3580,00 <sup>a</sup> ±0,03 <sup>c</sup>	749, 00 ±0,0 2 <sup>c</sup>	168,00 ±0,01 <sup>c</sup>	288,0 00 <sup>a</sup> ±0,00 8 <sup>c</sup>	268,00 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>c</sup>	271,0 00 <sup>a</sup> ±0,00 6 <sup>c</sup>
DQO(mg/L)	8429,00 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	4963, 00 <sup>a</sup> ±0,0 1 <sup>b</sup>	1481,00 ±0,01	1159, 00 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	5625,00 ±0,01 b	3694, 00 ±0,01

**Nota 1:** <sup>a</sup>valor promedio. <sup>b</sup>Incertidumbre. <sup>c</sup>desviación promedial

#### 4.2.2.1 pH

Las aguas residuales presentaron pH's de entrada a la trampa de grasa promedio entre (10,00 ±0,01) para soda Casa Luna, (6,10 ±0,01) para ASETEC y el valor de pH promedio para la soda TEC fue de (9,70 ±0,01). Se refleja predominancia de pH's básicos a la entrada del tratamiento primario

Las muestras de las aguas residuales de las sodas-comedor en estudio, tomadas posterior a las trampas de grasa, presentaron pH's promedio de (5,30 ±0,01) para soda ASETEC, (6,10 ±0,01) para soda TEC y de (6,60 ±0,01) para soda Casa Luna. Se observa una baja considerable del pH para los casos de la soda Casa Luna y Soda TEC. Se resalta que estos pH's son convenientes para el tratamiento con coagulante quitosano, pues se encuentran dentro de su ámbito de funcionamiento óptimo (Tafur & Quebedo, 2014).

#### **4.2.2.2 Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno, DQO, fue medida como parámetro que refleja la cantidad de materia orgánica presente en aguas residuales (Romero, 2013).

En el Cuadro 4. 3, se detalla que el valor máximo promedio de entrada a la trampa de grasa de DQO para Soda TEC, fue de  $(8429,00 \pm 0,01)$  mg/L. El valor mínimo promedio fue de  $(1481,00 \pm 0,01)$  mg/L para la soda Casa Luna. El parámetro de entrada de DQO para ASETEC fue de  $(5625,00 \pm 0,01)$  mg/L. El contenido de materia orgánica, medida a través de la demanda química de oxígeno, disminuyó respecto de la entrada de las trampas de grasa. El valor mínimo de DQO fue de  $(1159,00 \pm 0,01)$  mg/L para la soda Casa Luna. Respecto del valor de entrada en la trampa de grasa, se obtuvo un porcentaje de remoción del 22%.

El valor de salida de la trampa de grasa de DQO para la soda ASETEC, también disminuyó a  $(3694,00 \pm 0,01)$  mg/L, con una eficiencia de remoción para la trampa de grasa de Casa Luna del 34%. El valor máximo de salida de la trampa de grasa de DQO fue de  $(4963,00 \pm 0,01)$  mg/L para la soda TEC con una eficiencia de remoción del 41%.

#### **4.2.2.3 Grasas y Aceites**

Las grasas y aceites es un parámetro importante de cuantificar porque en grandes cantidades, interfieren en el tratamiento secundario por coagulación-floculación y por eso deben eliminarse por un tratamiento de desgrase como las trampas de grasa (Crites & Tchobanoglus, 2000).

Por esta razón, se midieron las grasas y aceites, tanto en la entrada de la trampa de grasa, como en la salida y posterior al tratamiento de coagulación-floculación. Las grasas-aceites es un parámetro normado por la legislación.

En el Cuadro 4. 3, se evidencia que el valor máximo de grasas y aceites en la entrada de las trampas de grasa, para Soda TEC, fue de (3580,00  $\pm$ 0,03) mg/L. El valor mínimo de grasas y aceites se obtuvo para la soda ASETEC, con un valor promedio de (268,00  $\pm$ 0,01) mg/L. En el caso de Casa Luna, el valor de DQO medido fue de (168,00  $\pm$ 0,01) mg/L.

El valor máximo de grasas y aceites medidas después de la trampa de grasa fue de (749,00  $\pm$ 0,02) mg/L para la soda TEC. El valor mínimo fue de (271,000  $\pm$ 0,006) mg/L para la soda ASETEC. El valor de grasas y aceites para la soda Casa Luna fue de (288,000  $\pm$ 0,008) mg/L

La única trampa de grasa que presentó eficiencia de remoción de grasas y aceites en el sistema primario, fue la Soda TEC, con una eficiencia de remoción del 77% de grasas y aceites.

En el caso de las sodas-comedor: ASETEC y Casa Luna, en donde, se tuvieron valores mayores de grasas y aceites en la salida de las trampas de grasa, se señala la posible relación de lo anterior, con condiciones anóxicas y contabilización de AGV's como grasas y aceites (Wasser, 1995). Además del arrastre de carga tanto de grasas como de DQO por la falta de adecuada limpieza de las TG, debido a la falta de más personal en el área de limpieza, de acuerdo con entrevistas personales al encargado de fontanería.

#### **4.2.2.4 Sustancias Activas al Azul de Metileno**

Para las sustancias activas al azul de metileno o detergentes, la norma para el caso de vertido a un cuerpo receptor o alcantarillado, es de 5 mg/L.

Se realizaron mediciones de SAAM: antes y después de la T.G. En el Cuadro 4. 3, se resumen los resultados de los valores de entrada a la trampa de grasa. El valor máximo de SAAM en la entrada de la trampa de grasa fue para Casa Luna ( $57,00 \pm 0,05$ ) mg/L y el valor mínimo fue el de Soda TEC de ( $7,50 \pm 0,05$ ) mg/L. El valor promedio para soda ASETEC fue de ( $46,50 \pm 0,05$ ) mg/L.

Para las tres sodas-comedor en estudio, el valor reportado de SAAM disminuyó respecto de los parámetros de entrada, en la salida de la trampa de grasa. El valor máximo de salida de la trampa de grasa de SAAM fue de ( $24,50 \pm 0,05$ ) mg/L para la soda Casa Luna, teniéndose un 57% de eficiencia de remoción de la trampa de grasa. El valor mínimo de SAAM fue el reportado para la Soda TEC, con un valor de ( $2,90 \pm 0,05$ ) mg/L y una eficiencia de remoción respecto de la entrada del 61%. En el caso de la soda ASETEC, el valor de salida de SAAM después de la trampa de grasa reportado fue de ( $18,50 \pm 0,05$ ) mg/L con una eficiencia de remoción del 60%.

### **4.3 CONDICIONES ÓPTIMAS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN CON QUITOSANO**

En este apartado, se describe las condiciones mediante las cuales se obtuvieron las pruebas de coagulación-floculación óptimas para la remoción de detergentes en aguas residuales de las salidas de las trampas de grasa de las sodas-comedor en estudio del Tecnológico de Costa Rica, las cuales, fueron utilizadas como el agua de entrada al tratamiento por coagulación-floculación para remoción de detergentes. Además, se valoran otros parámetros medidos tales como: DQO, grasas y aceites, pH, temperatura, sólidos sedimentables y turbiedad, que influyen en el proceso.

### 4.3.1 Valoración de tres quitosanos

Los valores en kDalton para los pesos moleculares de los tres quitosanos utilizados, se presentaron en el Cuadro 3. 1, sección de metodología. La forma en la cual fueron preparados, se resume en el Apéndice 2.

En la Figura 4. 4, se presentan los resultados de SAAM residual para los tres quitosanos valorados.

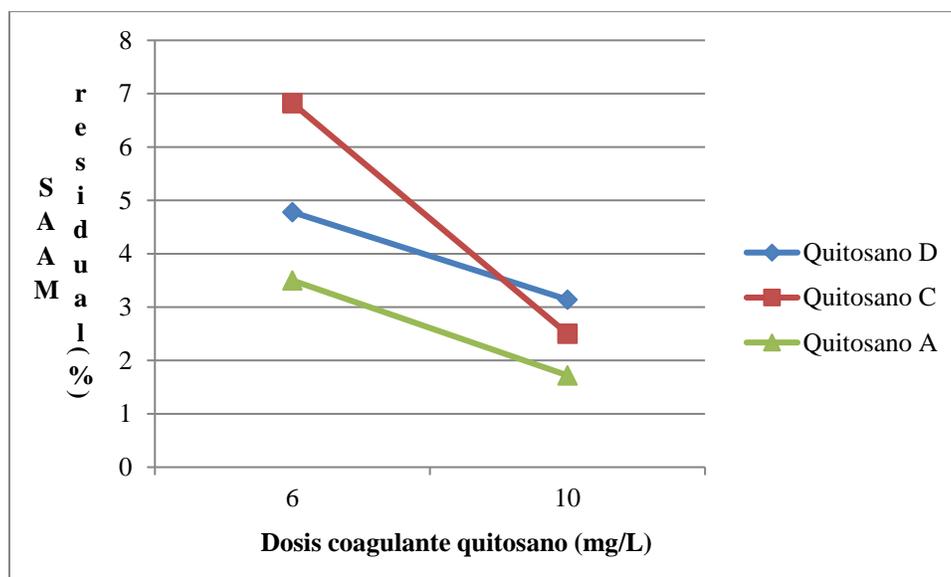


Figura 4. 4. Cantidad de SAAM residual (%) para tres quitosanos a diferente peso molecular para diferentes dosis de coagulante.

El quitosano que presentó las mejores condiciones de coagulación fue el quitosano A al 1%, el cual fue el que removió más cantidad de detergentes a un porcentaje de SAAM residual menor al 2% para una dosis de 10,0 mg/L. Es importante resaltar que, según lo reportado en el Cuadro 3. 1, el quitosano A elaborado, presentó mejor comportamiento que el adquirido de la compañía Sigma Alrich, denominado como quitosano D.

### 4.3.2 pH óptimo de coagulación

Para determinar el pH óptimo de coagulación, se varió el pH desde valores entre 5,5 hasta 8, según el ámbito de comportamiento óptimo del quitosano (Huang, Li, Li, Yang, & Ran, 2016). Los resultados del porcentaje de remoción de sustancias activas al azul de metileno bajo diferentes pH's, para verificar el pH óptimo de coagulación, se presentan en el gráfico de la Figura 4. 5.

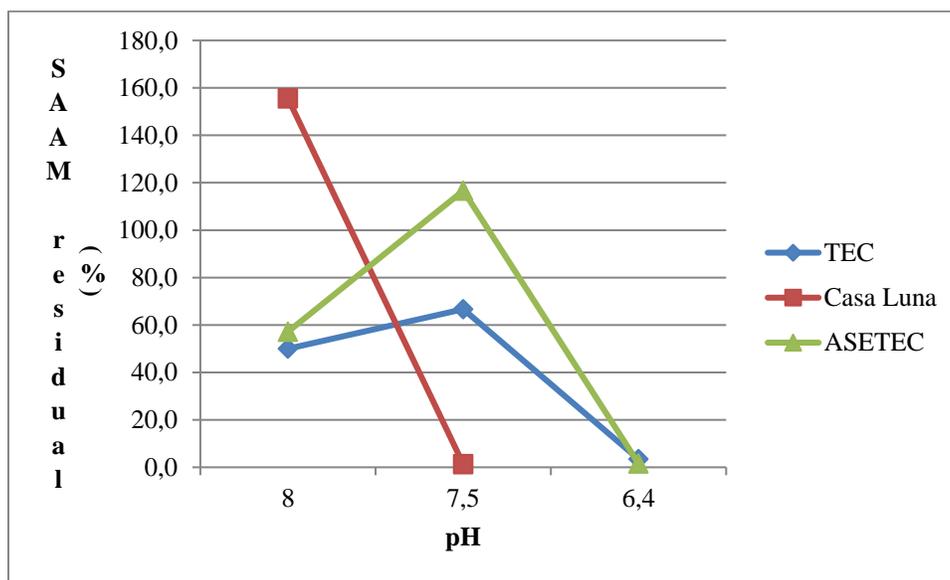


Figura 4. 5. Porcentaje de SAAM residual a diferentes pH's en tres sodas del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.

Como se puede observar del gráfico de la Figura 4. 5, los valores de SAAM residual más bajos, se obtuvieron en el ámbito de pH comprendido entre 6,5-7,4, aproximadamente, teniéndose los valores mínimos de SAAM residual para los pH de 6,4 en la Soda TEC y Soda ASETEC, y 7,5 para soda Casa Luna. Los valores máximos de SAAM residual se obtuvieron en pH de 7,5 para las sodas TEC y ASETEC y en pH 8, para la soda Casa Luna.

Debido a que en este ámbito de pH es que se encontraron las aguas residuales de las salidas de las trampas de grasa, se consideró que era innecesario el ajuste de pH para las pruebas de coagulación-floculación posteriores, pues el 90 % de los grupos funcionales  $\text{NH}_2$  presentes en la superficie del quitosano se protonan a un pH de 4 mientras que a valores superiores a 6 se reduce en un 50 %. En otras palabras, el pH óptimo de acción del quitosano se encuentra entre 4 y 6 (Tafur & Quebedo, 2014), lo cual indica que el AR proveniente de las sodas-comedor es adecuado para el tratamiento por coagulación-floculación con quitosano. Además, esto simplifica los costos de operación de implementarse la etapa secundaria del tratamiento a base de coagulación-floculación.

#### 4.3.3 Dosis óptima de coagulación

Se variaron las dosis de coagulante alrededor de varias pruebas de coagulación-floculación, detalladas en la Sección 3, Metodología, en los cuales se varió la dosis entre 0,0mg/L y 40,0 mg/L. Por medio de las mediciones de SAAM residual, respecto de la variación de la dosis de coagulante con el mejor quitosano al 1%, se obtuvo la gráfica de la Figura 4. 6.

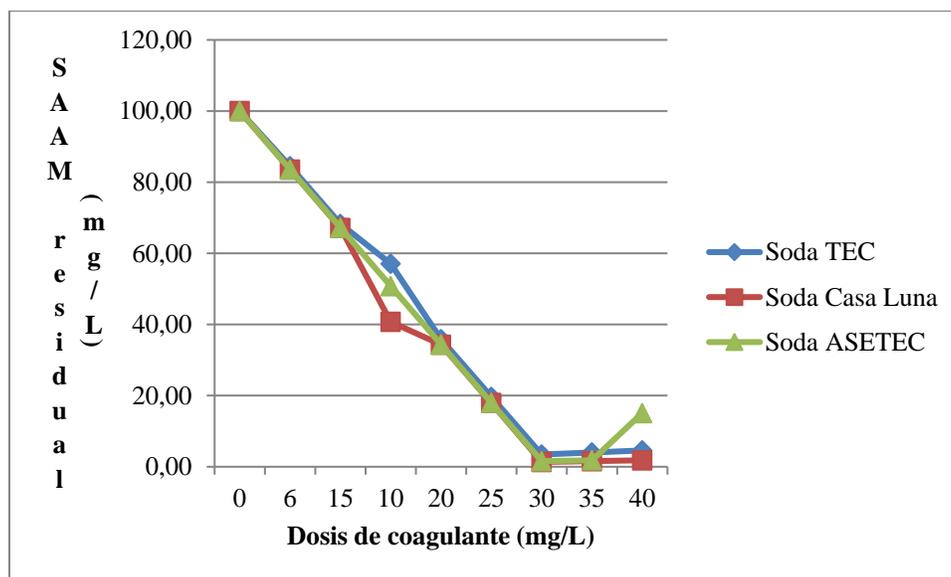


Figura 4. 6. Porcentaje de SAAM residual a diferentes dosis de coagulante quitosano en tres sodas del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.

De la Figura 4. 6, se observa que los valores mínimos de SAAM residual se obtienen para las dosis entre 30,0 y 35,0 mg/L para las tres sodas-comedor, con valores de SAAM residual cercanos a 0,01%. Por otro lado, los valores máximos de SAAM residual se obtuvieron para las dosis cercanas a 10,0 mg/L, para las tres sodas-comedor. Se denota que la SAAM residual empieza a aumentar nuevamente al dosificarse de más posterior a la mejor dosis de 30,0 mg/L de coagulante, relacionado esto al mecanismo de remoción de partículas por adsorción del quitosano (Tafur & Quebedo, 2014), pues al agregarse más coagulante del óptimo, se provoca la formación de floc punto de alfiler, provocando esto que no se produzca una correcta sedimentación de las partículas y baje la efectividad de remoción.

Las bajas dosis de coagulante, se justifican en que al tratarse de aguas residuales, las partículas de turbiedad tienen tamaños diferentes en comparación al agua potable, la cual, presenta valores de turbiedad más bajos y los tamaños de partícula son similares, con lo cual se disminuye la probabilidad de choque. Ambas condiciones favorecen a la necesidad de menos coagulante en el tratamiento por coagulación del agua residual, a mejores velocidades de sedimentación y mejor calidad del efluente (Andía, 2000).

Otra variable considerada, fue la altura de dosificación del quitosano en la jarra. Se varió entre dosificar por afuera de la jarra, altura media y fondo de la jarra del procedimiento de coagulación-floculación. Al dosificar en la parte media de la jarra, se obtienen mejores resultados.

Otras variables del proceso de coagulación-floculación tomadas en cuenta, fueron las RPM de coagulación, cuya prueba de coagulación-floculación se resume en el Cuadro 3. 4. La dosis de quitosano se mantuvo constante en 30,0 mg/L, sin embargo, se varió la forma de aplicar la dosis en las jarras entre aplicar el coagulante quitosano A en aumentos de 5,0 y 10,0 mg/L hasta completar 30,0 mg/L o dosificar los 30,0 mg/L desde un inicio. Para las tres sodas-comedor en estudio, se obtuvieron mejores resultados de coagulación-floculación, al realizar aumentos consecutivos de 10,0 mg/L o al aplicar la dosis de 30,0 mg/L en una sola aplicación.

Además, se variaron las RPM de coagulación entre 160 y 190 RPM, obteniéndose mejores resultados al aplicar 160 RPM. Las condiciones de floculación se mantuvieron constantes, a dosificaciones de 10,0 mg/L por tres minutos a 90 RPM. Las muestras se dejaron sedimentar por diez minutos. Colateralmente, se variaron los minutos de agitación, los cuales influyen directamente en el proceso, pues de no ser suficiente, no se produce el contacto entre partículas requerido (Balanta, Grande, & Zuluaga, 2010). Se determinó que con tres minutos se obtienen las mejores condiciones de coagulación-floculación.

#### 4.4 VALORACIÓN DE LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN CON DOS FLOCULANTES: CALLAWAY 4893 E HIDROXICLORURO DE ALUMINIO

Se valoraron dos floculantes: CALLAWAY4893 y el Hidroxicloruro de Aluminio. Sus propiedades se detallan en el Cuadro 3. 5, sección de metodología.

##### **4.4.1 Tratamiento de coagulación- floculación con floculante CALLAWAY 4893**

En el Cuadro 3. 6, se detalló la prueba de coagulación-floculación para determinar el comportamiento del floculante CALLAWAY 4893. Se dosificó con este floculante y se realizaron mediciones de SAAM residual para valorar su eficiencia de remoción. Los resultados se grafican en la Figura 4.7.

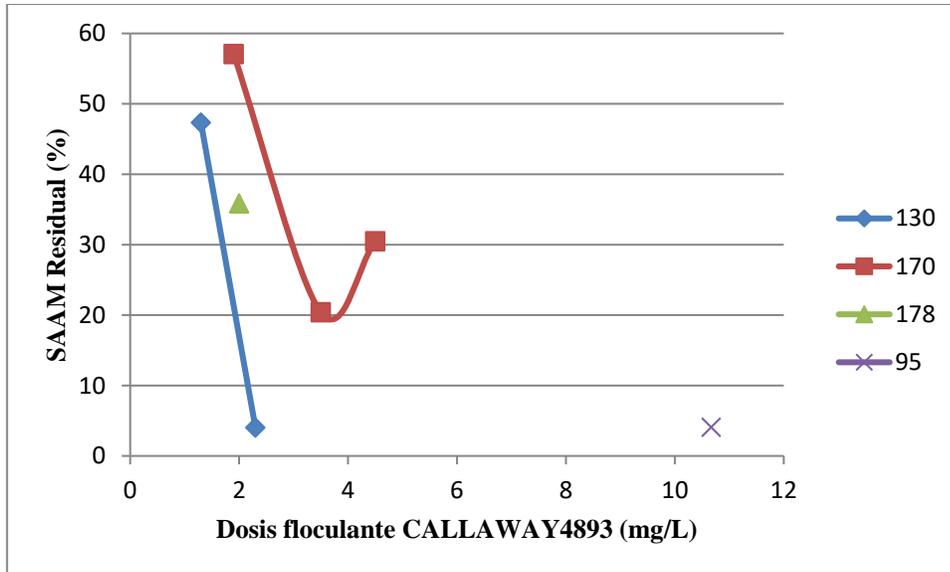


Figura 4. 7. Porcentaje de SAAM residual a diferentes dosis de flocculante Callaway 4893 al 1%, en soda TEC, del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.

De la Figura 4. 7, se observa que los porcentajes de SAAM residual máximos, se obtuvieron para las RPM de 130 y 170 para dosis entre 2,0 y 3,0 mg/L, sin embargo, al aumentar la dosis de flocculante, se disminuyen los valores de SAAM residual. El valor mínimo de SAAM residual, se obtuvo a una dosis de 10,5 mg/L a 95 RPM.

Se concluye que, el flocculante Callaway 4893 al 1%, puede ser utilizado en el proceso de coagulación-floculación para las tres sodas-comedor. Sin embargo, se obtuvieron condiciones no deseadas en el proceso, tales como punto de alfiler y no permitir una rápida sedimentación por lo que se valoró otro tipo de flocculante.

#### **4.4.2 Tratamiento de coagulación-floculación con floculante Hidroxicloruro de Aluminio**

Las pruebas de coagulación-floculación para las tres sodas-comedor, utilizando el Hidroxicloruro de Aluminio concentrado se detallan en el Cuadro 3. 7, sección de metodología. De esta prueba, se señala que bajo dosificaciones entre 6,0 y 10,0 mg/L de coagulante quitosano al 1% y dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio al 1% sin diluir entre 1,0 y 2,3 mg/L y sin variar las RPM ni tiempos de coagulación y floculación, se observó punto de alfiler en las jarras de la soda TEC. En las pruebas de ASETEC se obtuvieron malos resultados de coagulación (observados) y en la soda Casa Luna, se tuvieron problemas, pues el floculante se adhirió a las aspás bajo cualquier altura de dosificación, respecto de la jarra. El Hidroxicloruro de Aluminio, al hidrolizarse se carga positivamente y este se adhiere a las partículas negativas de suciedad, provocando la desestabilización de la carga (Cogollo, 2010).

Con el objetivo de evitar la condición de adherencias del floculante Hidroxicloruro de Aluminio a las aspás de agitación, se realizó la prueba de coagulación-floculación con el floculante al 1% en un factor de dilución de diez veces. La prueba se detalla en el Cuadro 3. 8, donde se aplicó una misma dosis de 10,0 mg/L de quitosano para las tres sodas-comedor y se varió la dosis de Hidroxicloruro de Aluminio al 1% diluido diez veces, entre 2,5 y 5,0 mg/L, obteniéndose que se presentó flocc punto de alfiler en la floculación, indicando esto que se requiere dosificar más floculante.

Además, se varió el punto de dosificación de las jarras, obteniéndose mejores resultados al dosificar en el medio de la jarra, permitiendo el adecuado contacto entre floculante-agua residual (Cogollo, 2010). Igualmente, se variaron las RPM entre 110 y 170 RP, obteniéndose mejores resultados para las jarras floculadas a 110 RPM a tres minutos de floculación.

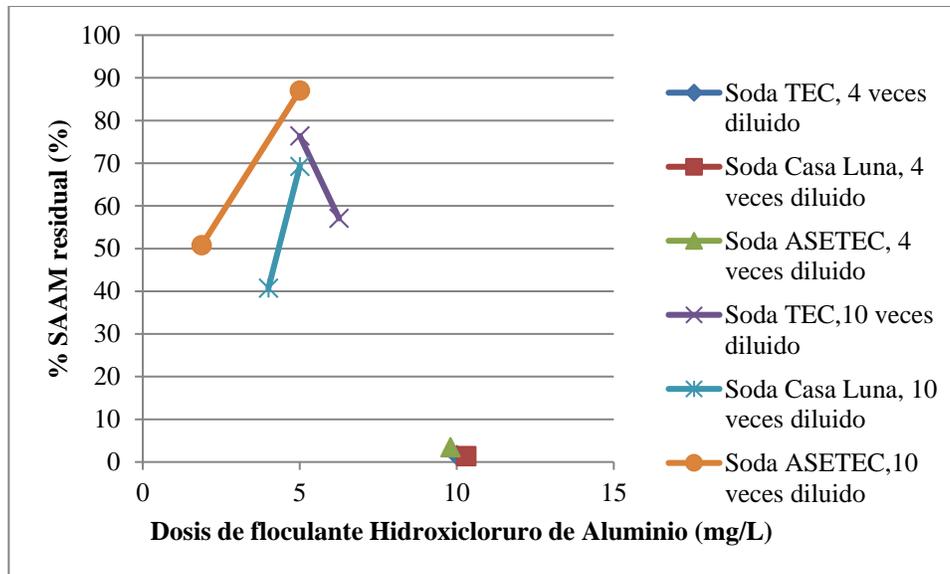
Se trabajó con mayores dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio al 1%, diez veces diluido (

Cuadro 3. 9), variándose la dosis de floculante entre 4,0 y 6,0 mg/L, a 90 RPM por tres minutos, dejando sedimentar por diez minutos. Se obtuvieron mejores resultados a dosificaciones mayores y a menor revolución por minuto, comprobadas visualmente por mejores condiciones de coagulación-floculación.

Para evitar los saltos de dosis en el proceso de coagulación-floculación y para agregar menos cantidad de producto, se diluyó cuatro veces el Hidroxicloruro de Aluminio, utilizado como floculante. En el

Cuadro 3. 10, se resumen las condiciones de coagulación-floculación con las cuales se trabajó el floculante diluido cuatro veces. Se varió la dosis de quitosano A entre 20,0 y 30,0 mg/L, obteniéndose mejores resultados para las dosis de 30,0 mg/L a 160 RPM por tres minutos de agitación de coagulación. La dosis de floculante al 1% diluido cuatro veces, se mantuvo constante a 10,0 mg/L de Hidroxicloruro de Aluminio a 90 RPM por tres minutos de agitación. Con esta dilución de floculante, no se adhirió a las aspas, estableciéndose así las mejores condiciones de coagulación-floculación para las tres sodas-comedor en estudio.

En la Figura 4. 8, se resumen los valores obtenidos de SAAM residual para las tres sodas-comedor en estudio a las diluciones detalladas anteriormente. Se observan valores máximos de porcentaje de SAAM residual para las muestras floculadas con el floculante diluido diez veces, con valores entre 70 y 90% de SAAM residual, mientras que se obtienen los valores mínimos de SAAM residual para las dosis de 10 mg/L para las floculaciones con el Hidroxicloruro de Aluminio 4 veces diluido, con porcentajes de SAAM residual cercanos al 0,1%



**Figura 4. 8. Porcentaje de SAAM residual para diferentes dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio a varias diluciones para las AR de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica.**

En cuanto al tiempo de sedimentación, se varió el tiempo de sedimentación y se realizaron mediciones de turbiedad residual para determinar su efecto en el tiempo (Apéndice Cuadro A.4. 2). Se estableció que era recomendable mantenerlo en diez minutos, pues para efectos prácticos de diseño es un tiempo adecuado.

**4.4.2.1 Condiciones óptimas de coagulación-floculación y dosis diarias de coagulante y floculante de acuerdo con el caudal de las aguas residuales de las tres sodas-comedor en estudio.**

Las pruebas de coagulación-floculación bajo las condiciones óptimas de funcionamiento del tratamiento, se resumen en el Cuadro 4. 4.

**Cuadro 4. 4. Proceso de coagulación-floculación para las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica utilizando quitosano A como coagulante y como floculante Hidroxicloruro, a volúmenes de jarras de un litro bajo condiciones de coagulación-floculación óptimas.**

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
<b>pH</b>	<b>6,1-6,5</b>
Dosis quitosano A (mg/L) al 1%	30
RPM coagulación	160
Tiempo de agitación de coagulación (minutos)	3
Dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio (mg/L) al 1%, diluido cuatro veces	10
Tiempo de agitación de floculación (minutos)	3
RPM floculación	90
Tiempo de sedimentación (minutos)	10

Nota: El intervalo de pH es para las tres sodas-comedor

Todas las sodas-comedor obtuvieron las mismas dosis óptimas, así como sus condiciones de coagulación-floculación de influencia: RPM y tiempos de agitación y sedimentación.

Las dosis óptimas de coagulante Quitosano y floculante Hidroxicloruro de Aluminio según el caudal promedio, para cada una de las tres sodas comedor en estudio, se resumen en el Cuadro 4. 5.

**Cuadro 4. 5. Caudal pico estimado para tres sodas-comedor ubicadas en la sede central del Tecnológico de Costa Rica**

<b>Soda</b>	<b>TEC</b>	<b>Casa Luna</b>	<b>ASETEC</b>
Número de almuerzos	2000	1000	500
Caudal de entrada al sistema de tratamiento de agua residual (m <sup>3</sup> /día)	20	10	5
Dosis de coagulante quitosano óptima (mg/L)	30,0	30,0	30,0
Total <b>gramos</b> de coagulante al 1% a aplicar bajo el caudal de la soda por día	600	300	150
Dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio óptima (mg/L)	10,0	10,0	10,0
Total <b>gramos</b> de floculante al 1%, diluido cuatro veces a aplicar bajo el caudal de la soda por día	200	100	50

Al considerar la dosis óptima de coagulante quitosano de 30,0 mg/L y de floculante Hidroxicloruro de Aluminio de 10,0 mg/L, para las tres sodas-comedor, se obtuvo el valor de dosis al caudal correspondiente. Según el Cuadro 4. 5, el caudal máximo de entrada al sistema de tratamiento fue de 20 m<sup>3</sup>/día, para la soda TEC con dosificación de 600 gramos/día de coagulante y 200 gramos/día de floculante.

El caudal mínimo fue de 5 m<sup>3</sup>/día para ASETEC, con dosificación de coagulante de 150 gramos/día y 50 gramos/día de floculante Hidroxicloruro de Aluminio. El caudal para la soda Casa Luna fue de 10 m<sup>3</sup>/día y dosificación de 300 gramos/día de coagulante y 100 gramos/día de floculante.

#### 4.5 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE DETERGENTES Y EFICIENCIAS DE OTROS PARÁMETROS MEDIDOS PARA LAS TRES SODAS-COMEDOR EN ESTUDIO

Se determinaron las eficiencias de remoción del proceso de coagulación-floculación de parámetros físico-químicos medidos en la salida del proceso de coagulación-floculación de las sodas-comedor en estudio. Además, se compararon los valores de eficiencia de remoción del proceso de coagulación-floculación con los valores de eficiencia para el sistema de tratamiento de trampas de grasas.

##### **4.5.1 Características físico-químicas de las aguas tratadas en el proceso de coagulación-floculación**

Se resumen las características físico-químicas de salida del efluente del proceso de coagulación-floculación en el Cuadro 4. 6. En este, se muestran los valores de pH, temperatura, turbiedad, grasas y aceites, SAAM y DQO. Además, se compararon los datos de salida obtenidos con los estipulados en el Reglamento de Vertido de aguas residuales tanto para el vertido a un alcantarillado sanitario como para un cuerpo receptor.

**Cuadro 4. 6. Características físico-químicas del efluente del proceso de coagulación-floculación de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica**

Soda-Comedor	TEC	Casa Luna	ASETEC	Valor Norma vertido a cuerpo receptor	Valor a alcantarillado	Norma a
Grasas/Aceites (mg/L)	167,000 <sup>a</sup> ±0,004 <sup>c</sup>	54,000 <sup>a</sup> ±0,002 <sup>c</sup>	16,0000 <sup>a</sup> ± 0,0006 <sup>c</sup>	30	50	
Sustancias activas al azul de metileno SAAM (mg/L)	0,10 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>	0,33 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>	0,29 <sup>a</sup> ±0,05 <sup>b</sup>	5	5	
DQO (mg/L)	1330,30 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	677,50 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	1390,00 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	150	750	
pH	6.39 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	6,00 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	6,10 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	5 a 9	6-9	
Temperatura (°C)	26,10 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	22,50 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	21,60 <sup>a</sup> ±0,01 <sup>b</sup>	15°C ≤T ≤ 40°C	15°C ≤T ≤ 40°C	
Sólidos sedimentables (mL/L )	-	-	-	1	5	
Turbiedad (NTU)	99 <sup>a</sup> ±2 <sup>b</sup>	48 <sup>a</sup> ±1 <sup>b</sup>	92 <sup>a</sup> ±2 <sup>b</sup>	-	-	

**Nota 1:** <sup>a</sup>valor promedio. <sup>b</sup> Incertidumbre. <sup>c</sup>desviación promedia

El valor máximo reportado para los valores de pH promedio del efluente del proceso de coagulación-floculación fue de (6,39 ±0,01) a (26,10 ±0,01) ° C para soda TEC y el valor mínimo fue de (6,00 ±0,01) a (22,50 ±0,01) ° C para soda Casa Luna. El valor para soda ASETEC fue de (6,10 ±0,01) a (21,60 ±0,01) ° C.

Al comparar los valores obtenidos de pH y temperatura con límites señalados en el Cuadro 4. 6, ya sea para vertido en cuerpo receptor o alcantarillado, se concluye que se cumple con la normativa de vertido vigente en Costa Rica, tanto para el pH como para la temperatura de las aguas tratadas con el posible tratamiento secundario de las tres sodas comedor en estudio.

En los valores promedio reportados de detergentes, el valor máximo fue de  $(0,33 \pm 0,05)$  mg/L para Soda Casa Luna y un valor mínimo de  $(0,10 \pm 0,05)$  mg/L para la Soda TEC. El valor obtenido para la Soda ASETEC, fue de  $(0,29 \pm 0,05)$  mg/L.

Los tres valores de SAAM reportados posteriores al proceso de coagulación-floculación, para las tres sodas-comedor en estudio, cumplen con la normativa vigente de aguas residuales en Costa Rica, establecida en 5 mg/L para vertido en un cuerpo receptor y de igual forma, para vertido en un alcantarillado sanitario. Bajo las condiciones de operación actuales (solo tratamiento primario), el único efluente que cumple la norma de vertido de SAAM, es el de la Soda TEC.

Los valores de salida del proceso de coagulación-floculación, en términos de materia orgánica medida como DQO, tuvieron como valor máximo  $(1390,00 \pm 0,01)$  mg/L para la soda ASETEC y valor mínimo de  $(677,00 \pm 0,01)$  mg/L para la soda Casa Luna. La soda TEC reportó  $(1330,00 \pm 0,01)$  mg/L como valor de DQO, detallados en el Cuadro 4. 6.

Ninguno de los valores de DQO, para las muestras de A.R posteriores al proceso de coagulación-floculación, cumple con el valor de vertido en un cuerpo receptor, establecido en 150 mg/L, sin embargo, la soda Casa Luna si lo cumple si se considera el valor de norma para vertido en alcantarillado de 750 mg/L. Esto se espera que mejore con la correcta limpieza de las trampas de grasa para evitar la anaerobiosis (Wasser, 1995), además, se retoma la importancia de determinar el punto de desfogue de las tres sodas-comedor.

Las grasas y aceites es una característica de gran influencia en el proceso de coagulación-floculación. (Andía, 2000). Se reportó como valor máximo (167,000  $\pm$ 0,004) mg/L para la soda TEC y como valor mínimo (54,000  $\pm$ 0,002) mg/L para la soda Casa Luna. La soda ASETEC reportó (16,0000  $\pm$ 0,0006) mg/L como valor de grasas y aceites.

De los valores de grasas y aceites de las muestras de la salida del proceso de coagulación-floculación, solamente el reportado para la soda ASETEC, cumple con el parámetro de vertido establecido por la normativa vigente, de 30 mg/L para cuerpo receptor o en 50 mg/L para el vertido a un alcantarillado sanitario. Debido a la falta de personal y su disponibilidad, pueden alcanzarse hasta mes y medio sin remover las grasas y sedimentos del fondo en las trampas de grasa, lo cual lleva a relacionar la alta cantidad de grasas y aceites con la condición de anaerobiosis y arrastre de carga (Wasser, 1995).

La turbiedad no es una característica normada por la ley de vertido de AR vigente en el país, sin embargo es de importante conocimiento en el proceso de coagulación-floculación (Ruiz, 2012), como valor a tomar en cuenta para determinar mejores condiciones de coagulación-floculación. Los valores de salida del proceso de coagulación-floculación de turbiedad, tuvieron como valor máximo (99  $\pm$ 2) NTU para la soda TEC y valor mínimo de (48  $\pm$ 1) NTU para la soda Casa Luna. La soda ASETEC reportó (92  $\pm$ 2) NTU como valor de turbiedad.

#### 4.5.2 Eficiencias de remoción de características físico-químicas del efluente del proceso de coagulación-floculación de las aguas residuales de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica

Los valores de DQO, grasas y aceites, turbiedad y SAAM, fueron utilizadas para determinar las eficiencias de remoción bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación de las sodas: TEC, ASETEC y Casa Luna, en las jarras con las mejores condiciones de tratamiento secundario. De acuerdo con la información del Cuadro 4. 6, se determinaron las eficiencias de remoción de los parámetros: SAAM, DQO, grasas y aceites y turbiedad.

Las eficiencias de remoción promedio para SAAM, DQO, grasas y aceites y turbiedad, se resumen en el Cuadro 4. 7.

**Cuadro 4. 7. Eficiencias de remoción de las trampas de grasa y el tratamiento de coagulación-floculación con quitosano A e Hidroxicloruro de Aluminio bajo condiciones óptimas.**

Parámetro	Soda	Eficiencia remoción trampa de grasa (%)	Eficiencia remoción proceso de coagulación-floculación (%)
Grasas y Aceites	TEC	77	77
	Casa Luna	*	78
	ASETEC	*	93
Demanda Química de Oxígeno	TEC	41	72
	Casa Luna	34	58
	ASETEC	22	43
Turbiedad	TEC	*	39
	Casa Luna	*	69
	ASETEC	Fuera de ámbito	100
SAAM	TEC	61	96
	Casa Luna	57	99
	ASETEC	60	98

Nota: (\*): reporta el aumento del valor respecto a la entrada

### 4.5.3 Eficiencia de remoción de Sustancias Activas al Azul de metileno

El eje principal del estudio de coagulación-floculación en aguas residuales de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede central, se enfocó en la remoción de detergentes, posterior al proceso de coagulación-floculación.

Bajo las condiciones óptimas de coagulación-floculación, las eficiencias de remoción de detergentes obtenidas para las tres sodas-comedor en estudio, según el Cuadro 4. 7 , mejoraron los valores de remoción de SAAM respecto de la trampa de grasa en un 37 por ciento para la Soda TEC, un 42% para la Soda Casa Luna y un 39% para la Soda ASETEC. Esto también se puede verificar en el diagrama de cajas de la Figura 4. 9. Se espera que, sin condiciones de anaerobiosis estas eficiencias puedan aumentar.

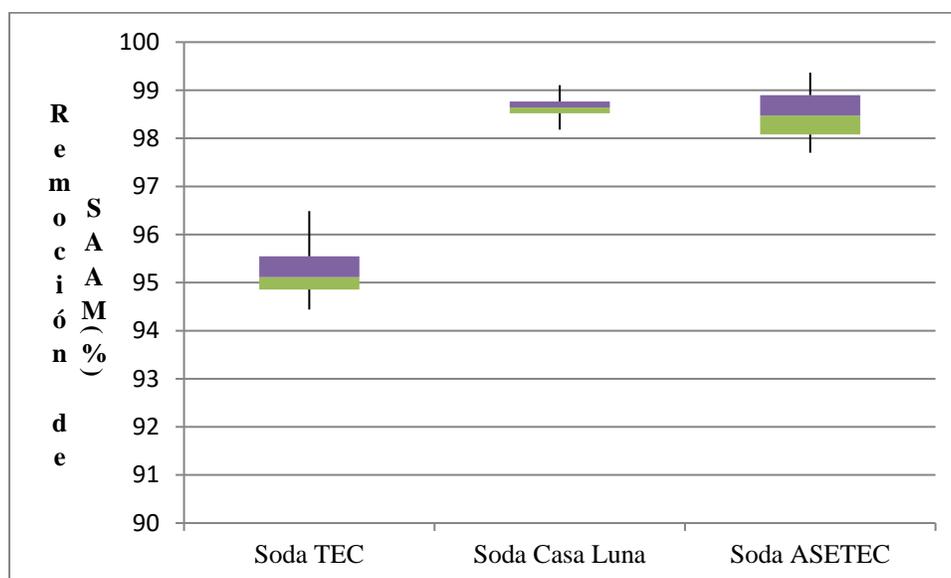


Figura 4. 9. Diagrama de cajas de la remoción de SAAM en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central.

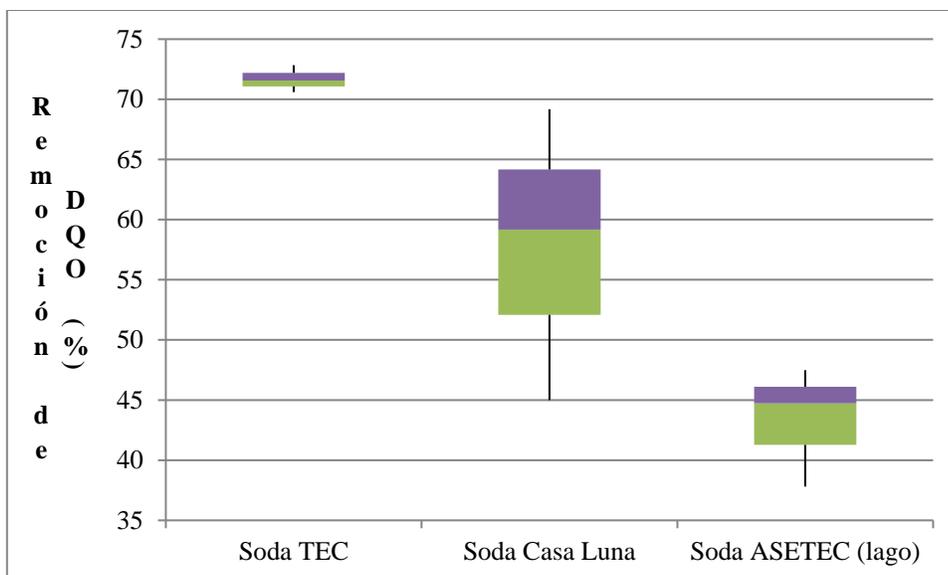
Se observa que los valores de eficiencias de remoción de SAAM, se encuentran entre 94 y 100% para las tres sodas-comedor. En el caso de la soda TEC, su mínimo se encuentra en 94% y el valor máximo en 97,5% para una media reportada en el Cuadro 4. 7 de 95%. En la soda Casa Luna, el valor mínimo se encuentra en 98% y el valor máximo en aproximadamente 99% para una media reportada en el Cuadro 4. 7 de 99%. Con respecto de la soda ASETEC, el valor mínimo observado en la Figura 4. 9 es de 97,6% y el máximo 99,5% con un valor medio de 99%.

Al ser mejoradas en altos porcentajes las eficiencias de remoción de detergentes respecto de las trampas de grasa de las tres sodas-comedor en estudio (37-42%) y al obtenerse altas eficiencias de remoción en el proceso de coagulación-floculación, se puede concluir que el proceso de tratamiento secundario es adecuado para su implementación en materia de remoción de detergentes de aguas residuales de sodas-comedor con características similares a las detalladas en el estudio desarrollado en este trabajo.

#### **4.5.4 Eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno**

Las eficiencias de remoción de la trampa de grasa relacionada con la DQO, se aumentaron con el proceso de coagulación-floculación en un 77% para la Soda TEC, un 30 % para la soda Casa Luna y un 21% para la Soda ASETEC.

En la Figura 4. 10, se grafican las eficiencias de remoción de DQO para las tres sodas-comedor en estudio.



**Figura 4. 10.** Eficiencia de remoción de DQO en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central.

Según la Figura 4. 10, las eficiencias de remoción de DQO, se encuentran entre 35 y 75% para las tres sodas-comedor.

En el caso de la soda TEC, su mínimo se encuentra cercano al 70% y el valor máximo en 70,5% para una media reportada en el Cuadro 4. 7 de 72%. En la soda Casa Luna, el valor mínimo se encuentra en 45% y el valor máximo en aproximadamente 70% para una media reportada en el Cuadro 4. 7 de 56%. Con respecto de la soda ASETEC, el valor mínimo observado en la Figura 4. 9 es cercano al 35% y el máximo aproximado a 45,5% con un valor medio de 43%, siendo el caso con las eficiencias de remoción de DQO más bajas.

Se señala que estos valores pueden mejorar y cumplir la normativa vigente para DQO, al evitar la condición de anaerobiosis en las trampas de grasa de las sodas-comedor al realizar limpiezas continuas (Wasser, 1995).

#### 4.5.5 Eficiencia de remoción de Grasas y aceites

En cuanto a las eficiencias de remoción de las grasas y aceites, se tuvieron datos diversos, pues para el caso de la soda TEC, se obtuvo una eficiencia de remoción del 78%. La soda ASETEC tuvo una mejoría en la eficiencia de remoción del 93% respecto de la obtenida por la trampa de grasa. En el caso de la soda Casa Luna, la trampa de grasa aumentó las grasas y aceites en un 46,54% y el proceso de coagulación-floculación las removió en un 77% como se señala en el Cuadro 4. 7. La saturación de grasa por falta de limpieza, provoca arrastre de la grasa en la salida de la trampa de grasa, con lo que se da formación de AGV's a partir de las grasas (las grasas y aceites se desdoblan en ácidos grasos volátiles) provocando que a la salida de la trampa de grasa se detecten como compuestos grasos. Otra posible justificación al aumento de las grasas y aceites en la salida de la trampa de grasa es que a mayor caudal, hay arrastre de carga de la grasa y por lo tanto, mayor contenido de grasas en la salida de las trampas (Metcalf, 1985).

En la Figura 4. 11, se grafican las eficiencias de remoción de grasas y aceites para las tres sodas-comedor en estudio.

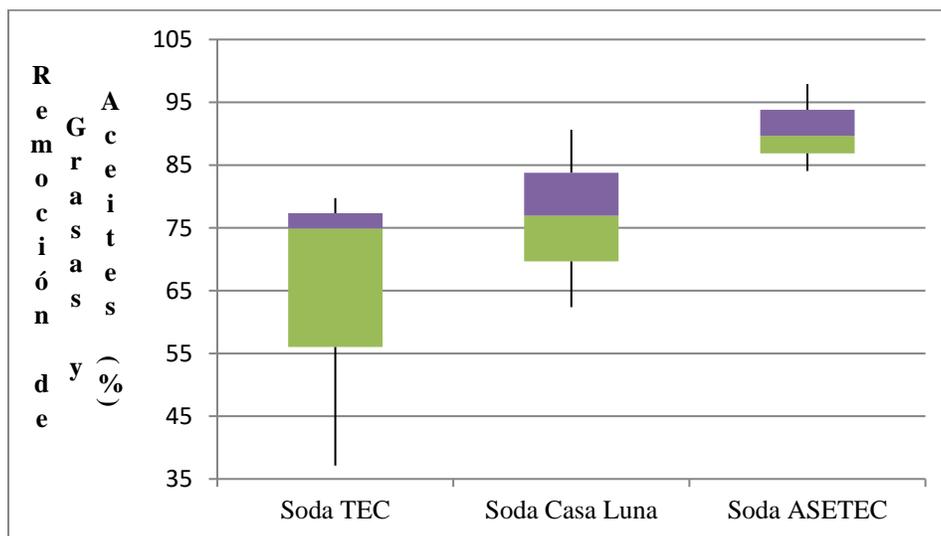


Figura 4. 11. Eficiencia de remoción de Grasas y Aceites en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central.

En la Figura 4. 11, se denota que las eficiencias de remoción de grasas y aceites, se encuentran entre 55 y 100% para las tres sodas-comedor.

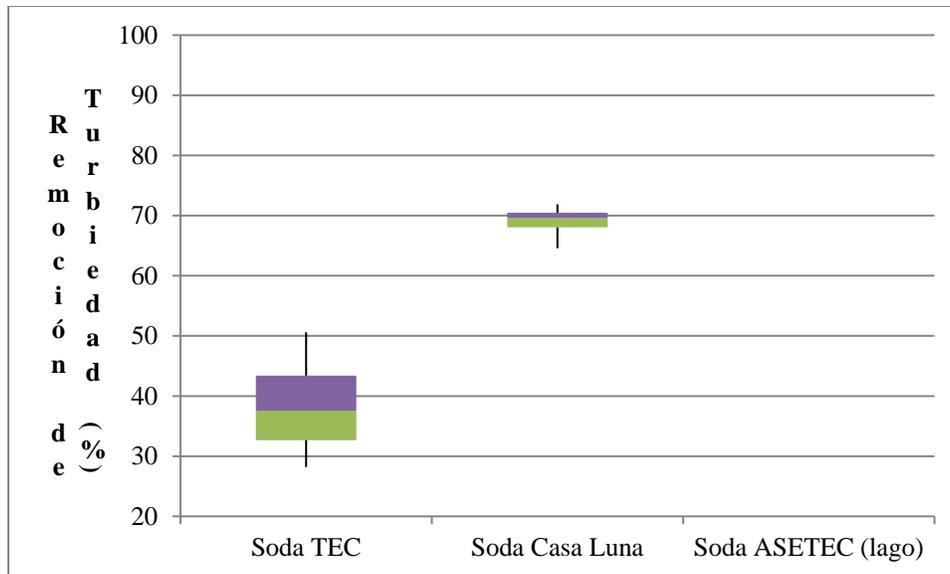
En el caso de la soda TEC, su mínimo se encuentra cercano al 35% y el valor máximo cercano al 80% para una media reportada en el Cuadro 4. 7 del 64%. En la soda Casa Luna, el valor mínimo se encuentra cerca al 50% y el valor máximo en aproximadamente 90% para una media reportada de 77%. Con respecto de la soda ASETEC, el valor mínimo observado en la Figura 4. 9 es cerca al 85% y el máximo aproximado a 96% con un valor medio del 91%, siendo el caso con las eficiencias de remoción de grasas y aceites más altas.

Se concluye que, una condición para implementar tratamiento por coagulación es eliminar las grasas, para obtener mayor eficiencia, porque las grasas influyen en el proceso de coagulación (Andía, 2000) y en el funcionamiento en general de las trampas de grasa.

#### **4.5.6 Turbiedad**

En las tres sodas-comedor en estudio, se obtuvieron valores inferiores de turbiedad posteriores al proceso de coagulación respecto de la entrada de la trampa de grasa, mejorando así los resultados de aumento de turbiedad para las sodas TEC y Casa Luna.

En la Figura 4. 12, se denota que las eficiencias de turbiedad, se encuentran entre 25 y 74% para las tres sodas-comedor.



**Figura 4. 12. Eficiencia de remoción de Grasas y Aceites en el proceso de coagulación-floculación de las tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica, sede Central.**

El mínimo de la soda TEC se ubica cercano al 26% y el valor máximo cercano al 50% para una media reportada en el Cuadro 4. 7 de 39%. En la soda Casa Luna, el valor mínimo se encuentra cerca al 65% y el valor máximo en aproximadamente 73% para una media reportada de 69%, lográndose las mejores eficiencias de remoción de turbiedad para la soda Casa Luna.

Con respecto de la soda ASETEC, no se detallan en la Figura 4. 12, pues como los valores de entrada al proceso de coagulación-floculación no se detallaron al estar fuera de ámbito con el equipo de medición, se considera una eficiencia del 100%. Se recomienda utilizar un equipo con mayor capacidad de medición para la comprobación de los valores obtenidos para la soda ASETEC.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de coagulación-floculación de las A.R de las sodas-comedor, mejora las eficiencias de remoción de SAAM y permite **cumplir** con los límites de vertido de 5mg/L.

La caracterización indica que los valores de **SAAM**, varían de 7,50 a 2,90 mg/L en la salida de la T.G de la soda TEC (61% remoción), de 57,00 a 22,50mg/L en la soda Casa Luna (57% remoción) y de 46,5 a 18,5 mg/L en la T.G de la soda ASETEC (59% remoción). Se denota la necesidad de un proceso secundario a la T.G, pues **no se cumple** la normativa de vertido de detergentes.

Los valores de **DQO** varían de 8429 a 4963 mg/L en la salida de la T.G de la soda TEC (41% remoción) y de 1481 a 1159 mg/L en la T.G de la soda Casa Luna (34% remoción). Para el restaurante ASETEC se disminuyó el valor de DQO de 5625 a 3697 mg/L en la salida de la T.G (22% remoción). Esto revela que **no se cumple** con la normativa de vertido para grasas y aceites, en las salidas de las trampas de grasas.

Las **grasas y aceites**, **no cumplen** con la normativa de vertido, pues en el caso de la soda TEC, disminuyó de 3580 mg/L a 749 mg/L (77% remoción) y en la soda Casa Luna y ASETEC, no se tuvo remoción de grasas y aceites manteniéndose un valor promedio de 250 mg/L. Además, los **sólidos sedimentables**, revelaron valores por encima de la norma entre 2,1 ml/L para Soda TEC y 38,7 mL/L para soda Casa Luna.

La **turbiedad** en el AR de las trampas de grasa, aumenta en el caso de la Soda TEC y en la soda Casa Luna, la turbiedad se mantiene sin remoción entre 155 NTU.

Los valores obtenidos en las A.R de las trampas de grasa de **pH y temperatura**, **si cumplen** la normativa de vertido. Los valores de pH se acidificaron entre 9,70 a 6,10 para la Soda TEC, de 10,00 a 6,60 para Casa Luna y de 6,10 a 5,30 para la soda ASETEC. La temperatura se mantuvo cercana a 22,50 ° C para la soda Casa Luna y ASETEC y en la soda TEC, los valores fueron cercanos a 30,60 ° C

La **dosis óptima del quitosano** (peso molecular de 170kDa) fue de 30 mg/L a 160 RPM con tiempo de agitación de tres minutos, sin necesidad de ajustar el pH.

Se debe dosificar el coagulante en 600 gramos/día para Soda TEC a caudal promedio de 20m<sup>3</sup>, 300 gramos/día para Soda Casa Luna a un caudal promedio de 10 m<sup>3</sup>/día y 150 gramos/día para Soda ASETEC a un caudal promedio de 5 m<sup>3</sup>/día.

La **cantidad de floculante Hidroxicloruro de Aluminio óptima** fue de 10,0 mg/L a 90 RPM y tres minutos de agitación minutos de agitación y tiempos de sedimentación de diez minutos, para las tres sodas-comedor.

Para tratar el caudal promedio de las tres sodas en estudio, se requieren del floculante: para la soda TEC 200 gramos/día, 100 gramos/día para la soda Casa Luna y 50 gramos/día para la soda ASETEC.

Los valores de las características medidas posteriores al proceso de coagulación-floculación **cumplen**, en la mayoría de casos la normativa de vertido de A.R.

En el caso de los **detergentes**, los valores de salida del proceso de coagulación-floculación se encontraron entre 0,1mg/L (96% remoción) para la soda TEC y 0,3 mg/L (99% remoción) para la soda Casa Luna, con lo cual se obtienen altas eficiencias de remoción de SAAM y una mejora significativa con la remoción obtenida en las trampas de grasa. Esto indica que los valores de detergentes en la salida del proceso de coagulación-floculación **cumplen** con los límites de vertido de la legislación de Costa Rica.

Los valores de **demanda química de oxígeno**, posteriores al tratamiento secundario, de las sodas TEC y ASETEC, **no cumplen** con los límites de vertido, con valores entre 1330 mg/L (72% remoción) y 1390 mg/L (43% remoción), respectivamente. La soda Casa Luna cumple la normativa de vertido para DQO con valor promedio de 677 mg/L (58% remoción).

En los valores de **grasas y aceites**, la soda ASETEC, con valor promedio de 16 mg/L (93% de remoción), cumple con la normativa de vertido. El valor promedio para la soda TEC fue de 167 mg/L (77% de remoción) y 54 mg/L para la soda Casa Luna (78% de remoción). Se **mejoró notablemente** la remoción de grasas en comparación con el aumento obtenido en la trampa de grasa para las sodas Casa Luna y ASETEC.

Al evaluar la **turbiedad** posterior al proceso de coagulación-floculación, se obtuvieron valores promedio para soda TEC de 99 NTU (39% eficiencia de remoción), 92 NTU para soda ASETEC (100% eficiencia de remoción) y 48 NTU para soda Casa Luna (69% eficiencia de remoción).

Los valores de **pH y temperatura** para los efluentes de las aguas residuales del proceso de coagulación-floculación de tres sodas comedor, **cumplen** con los límites de vertido. El valor de pH máximo fue de 6,39 para soda TEC y el mínimo de 6,00 para soda Casa Luna. La temperatura máxima fue de 26 °C para soda TEC y la mínima de 21,6 °C para soda Casa Luna.

Se **recomienda** la implementación de mejores prácticas de lavado en las sodas-comedor, como el uso de detergentes amigables con el ambiente.

Se insta al personal de mantenimiento a **seguir el cronograma** de limpieza establecido para las trampas de grasa, con lo cual se garantiza una remoción de las grasas entre el 50 y el 65% (Metcalf, 1985) ya que actualmente se obtienen valores de remoción del 35 %.

Con los datos obtenidos, se **recomienda** diseñar el tratamiento de coagulación-floculación para sodas comedor que sirvan entre 500 y 2000 almuerzos para que de esta forma se cumpla con todos los parámetros obligatorios de vertido establecidos en el reglamento 33601 del Minsalud-MINAET.

Además, una vez diseñado el sistema, se **recomienda** implementarlo a gran escala en una de las sodas del Tecnológico y evaluarlo para brindarlo como tratamiento, principalmente en sodas de la GAM, que deben cumplir con un pre-tratamiento para poder verter a la futura planta de tratamiento secundario del AyA.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. *SEDAPAL*.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 1*. Bogotá: McGraw Hill.
- Balanta, D., Grande, C. G., & Zuluaga, F. (2010). *Extracción, identificación y caracterización de quitosano del micelio de Aspergillus Niger y sus aplicaciones como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas*. Cali, Colombia: Revista Iberoamericana de Polímeros.
- Cervantes, M., Landero, M., Morales, M., Pacheco, F., & Rosano, G. (2012). *Pruebas de tratabilidad del agua residual del rastro municipal*. Puebla, México: Universidad Autónoma del Estado de Puebla.
- Cogollo, M. (2010). *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Crites, R., & Tchobanoglus, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Santafé de Bogotá: McGraw-Interamericana, S.A.
- Crittenden, J., Hand, D., Howe, K., Tchobanoglous, G., Trussell, & Rhodes. (2012). *MWH's Water Treatment. Principles and design*. New Jersey: Wiley.
- Deloya, A. (2016). *Entrevista Personal*. Cartago, Costa Rica.
- Deloya, A. (2016). *Entrevista Personal el 11 de febrero*. Cartago, Costa Rica.
- Departamento de Ingeniería, T. (2016). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Guibal, E. V. (2006). A review of the use of chitosan for the removal of particulate and dissolved contaminants.
- Guohua Chen, X. C. (2000). Electrocoagulation and Electroflotation of Restaurant Wastewater. *Journal of Environmental Engineering*.
- HAPA, A. &. (2012). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC.: (A. Eaton, L. Clesceri, & A. Greenberg, Eds.) (22nd ed.). .
- Huang, M., Li, A., Li, H., Yang, H., & Ran, Y. (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in waste treatment. *Elsevier*, 59-89.
- Iberian, P. (2017). *Consulta de servicios*. España.

- Jiménez, J., Quirós, N., & Vargas, M. (2010). *Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Río Humo, Reserva Forestar Río Maco*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- Metcalf, E. (1985). *Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. Ingeniería Sanitaria: Editorial Labor S.A.
- MINAE. (s.f.). *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601*. Costa Rica.
- Ramírez, J. M. (2006). Detergentes orgánicos sintéticos y ambiente. *Hidrogénesis*, 22-27.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiato de agua potable* . Colombia, Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Romero, R. J. (2013). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, O. (2012). Tratamiento físico-químico de aguas residuales.
- S-MINAET, N. 3. (2006). derogamiento.
- S-MINAET, N. 3. (2006). *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales y Reglamento General para el Otorgamiento de permisos de Funcionamiento del Ministerio de Salud*.
- Tafur, L., & Quebedo, R. (2014). *Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto del camarón*. Ibagué, Tolima.
- Velásquez, C. (2006). *Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro*. Avances en Química.
- Villalobos, W. (2011). *Eliminación de metales pesados de aguas residuales con membranas de quitosano*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- Vishakha Kaushik, N. L. (2014). Waste Management in Restaurants: A Review. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology* , Volume. 2, Issue 2, May 2014, PP 14-24.
- Wasser, R. (1995). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales del café*. San José, Costa Rica: Instituto del Café de Costa Rica.

## **7 APÉNDICES**



## APÉNDICE 1: DETALLE DE LOS MUESTREOS REALIZADOS

Cuadro A.1. 1. Fechas y parámetros de muestreos realizados en las TG de las sodas-comedor

Muestreo	Fecha del muestreo	Hora	pH	Temperatura (°C)	Ubicación
1	29-mar-16	11:00 a.m.	6.2	70	Salida Trampa de Grasa Soda TEC
2	20-abr-16	9:45 a.m.	5.9	34,9	Salida Trampa de Grasa Soda TEC
		10:00 a.m.	5,5	36,5	Salida TG Soda TEC
3	10-mayo-2016	10:20 a.m.	6,3	23,8	Salida TG Casa Luna
		10:40 a.m.	7,4	21,0	Salida TG ASETEC
4	17-mayo-2016	10:00 a.m.	7,2	35,6	Salida Trampa de Grasa Soda TEC
		10:30 a.m.	6,3	21,8	Salida TG Casa Luna
		11:00 a.m.	6,1	21,4	Salida TG ASETEC
5	7-setiembre-2016	10:30 a.m.	9,7	30,6	Entrada TG Soda TEC
			6,1	26,1	Salida TG Soda TEC
	9-Setiembre-2016		10,0	22,1	Entrada TG Soda Casa Luna
			6,6	22,5	Salida TG Soda Casa Luna
			6,1	21,6	Entrada TG Soda ASETEC
	5,3	21,6	Salida TG Soda ASETEC		
6	3-noviembre-2016	11:30 a.m.	8,93	29,1	Entrada TG Soda TEC
			8,21	29,4	Salida TG S. TEC

**Cuadro A.1. 2. Datos de caudal medidos de las AR de la Soda TEC.**

Fecha muestreo y hora	29 de marzo, 2016 11:00:00 a. m.	20 de abril, 2016 09:45:00 a. m.	29 de marzo, 2016 11:00:00 a. m.
Caudal Después de la T.G (L/s)	0,27	0,31	0,34
Promedio	0,27		
Desviación promedial	0,02		

## **APÉNDICE 2: OBTENCIÓN DE LOS QUITOSANOS A PARTIR DE QUITINA**

Los quitosanos utilizados en este proyecto de investigación, fueron obtenidos del CENIBiot y el POLIUNA.

Su preparación, se parte de la quitina. Para obtener el quitosano, se secó la quitina por cinco días en un horno solar y después se colocaron 80,0 gramos de la quitina en un balón de fondo plano de 1 Litro adaptado con un condensador y se adicionó NaOH 50% en una relación de quitina:NaOH de1:10. Después se filtró la mezcla con agua municipal y se repitió el proceso. Se lavó con agua hasta llegar a pH neutro y se secó en una estufa a 60° por 48 horas.

### ***Purificación del quitosano***

Para purificar el quitosano, se disolvió con agitación magnética el quitosano con ácido acético 1%. Con esto se obtuvo una disolución de quitosano 1%*m/v*. Se filtró para eliminar impurezas. Después, se precipitó el quitosano con NaOH 1,0 mol/L. El sólido resultante, se llevó a una cámara de congelación a -20°C, el cual liofiliza durante una semana.

### *Hidrólisis química del quitosano*

Para la hidrólisis química del quitosano, se pesaron 3,0 gramos de quitosano y se disolvieron en ácido clorhídrico a concentraciones diferentes: 0,5 M, 0,75 M y 1M, para obtener una disolución de quitosano al 1%. Cada disolución se colocó en un sistema de condensación y agitación magnética por 35 minutos a 65°C. Finalizado este proceso, cada disolución se colocó inmediatamente en baño frío de agua hielo y después se llevó el pH a 7,5 con hidróxido de sodio 1,0 mol/l.

El sólido precipitado se colocó en tubos falcón y se centrifugó varias veces para eliminar el sobrenadante y se lavó el sólido con agua de ósmosis a 1400rpm. Se colocaron los tubos a -25°C en un liofilizador durante cinco días.

Posteriormente, se determinó el peso molecular de cada quitosano por viscosimetría.



### APÉNDICE 3: DATOS GENERALES DE LAS PRÁCTICAS DE LAVADO EN LAS SODAS-COMEDOR EN ESTUDIO

En el Cuadro A.3.1, se muestran los datos recopilados relacionados a las técnicas de lavado dentro de cada soda-comedor. Se detallan los detergentes utilizados en las sodas-comedor, así como el tipo de trampa de grasa y el uso de agua caliente o no en el lavado.

**Cuadro A.3. 1. Descripciones generales de las Sodas-Comedor en estudio y sus técnicas de lavado**

Soda-Comedor	Número de almuerzos servidos por día	Detergente utilizado	Técnica de lavado	Tipo de trampa de grasa	Uso de agua caliente	Mejorador de trampa de grasa	Frecuencia de limpieza
Soda TEC (Comedor Institucional)	2000	Duodecil benceno, sulfonato de sodio, trietanolamina, aceites esenciales, colorante y agua. Suplidor: <b>Sanitary Products</b>	Enjuague previo Aplicación del jabón líquido Enjuague Lavado con agua caliente a 80°C aproximadamente. Además se usa extractor de grasa (Salida a la TG)	Tiene dos tanques con vertido al alcantarillado.	Sí a 80°C aproximadamente	Grease Gone, Biokem	Cada 15 días
Soda Casa Luna	1000	Base de agentes limpiadores aniónicos, carbonato de sodio, carbonato de calcio, silicato de sodio, colorante y perfume Suplidor: <b>Acibril</b>	Enjuague previo Aplicación del jabón líquido Enjuague	Trampa de grasa de proveedor.	No.	No.	Cada 15 días
Soda ASETEC	500	Duodecilbenceno, sulfato de sodio, carbonatos y silicato, fragancia, color y agua. Suplidor: <b>Belca</b>	Enjuague previo Aplicación del jabón líquido Enjuague	Tiene dos tanques con vertido al alcantarillado.	No.	No.	Cada 15 días

## APÉNDICE 4: OTRAS PRUEBAS DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN REALIZADAS

**Cuadro A.4. 1. Proceso de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica**

	 <b>1</b>	 <b>2</b>	 <b>3</b>	 <b>4</b>
<b>pH</b>	<b>5,30</b>			
Dosis <b>quitosano A</b> (mg/L)	10,0		14,0	
RPM coagulación	220			
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	5			
Dosis floculante Hidroxicloruro de Aluminio al 1% (mg/L)	10	10,0	5,0	5,0
Tiempo de agitación floculación (minutos)	3			
RPM floculación	170			
Tiempo de sedimentación (minutos)	5			

**Cuadro A.4. 2.Procedimiento de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica con mediciones de turbiedad**

<b>Número de Jarra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
pH	5,5	5,5	5,5
Turbiedad (NTU)	252	252	252
Dosis <b>quitosano A</b> (mg/L)	20,0	20,0	20,0
RPM coagulación	218	218	218
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	5	5	5
Dosis floculante Callaway4893 (mg/L)	10,0	5,0	5,0
Tiempo de agitación floculación (minutos)	3	3	3
RPM floculación	170	170	170
Tiempo de sedimentación (minutos)	12min y 48 min	19 min y 52 min	9 min y 15 min
Turbiedad (NTU)	100 y 64	65 y 32	122 y 104
Anotaciones	Se determina que se necesita otro tipo de floculante para hacer la sedimentación más rápida		

**Nota: Muestreo 20 de abril**

**Cuadro A.4. 3. Procedimiento de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica con variaciones en la forma de aplicar el quitosano.**

Soda	TEC				Casa Luna				ASETEC				
	1		2		1		2		1		2		
N° replica	1		2		1		2		1		2		
pH	5,54				6,30				6,0				
Dosis de Quitosano (mg/L)	1c 20,0	2c 5,0	1c 20,0	2c -	1c 20,0	2c 10,0	1c 30,0	2c -	1c 20,0	2c 5,0	1c 2,5	2c -	
RPM coagulación	160												
Tiempo de agitación coagulación (minutos)	3												
Dosis Hidrocloruro Al(mg/L)	1c 7,5	2c 2,5	1c 2,5	2c 5,0	1c 10,0	2c -	1c 7,5	2c -	1c 7,5	2c -	1c 7,5	2c -	
Tiempo de agitación floculación (minutos)	3												
RPM floculación	75												
Tiempo de sedimentación (minutos)	10												
Anotaciones						Se obtienen mejores resultados al dosificar de 0,01 mg/L en 0,01 mg/L				Mucho punto de alfiler, se pasa la dosis.			

**Nota: Muestreo 17 mayo. Prueba realizada el 26 de mayo**

## APÉNDICE 5: PORCENTAJE DE SAAM RESIDUAL MEDIDO PARA VARIAS PRUEBAS DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

**Cuadro A.5. 1. Porcentaje de SAAM residual utilizando varios quitosanos a diferente peso molecular para Soda TEC**

Quitosano/dosis quitosano (mg/L)	SAAM residual (%)	
	6,0	10,0
D	4,78	3,14
C	6,82	2,50
A	3,20	1,72

**Cuadro A.5. 2. Porcentaje de SAAM residual con ajustes de pH entre 6 y 8 para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación**

Soda	pH	SAAM residual (%)
TEC	8,0	50,00
	7,5	66,67
	6,4	3,45
Casa Luna	5,5	155,56
	6,6	1,35
ASETEC	7,4	57,14
	7,4	116,67
	6,0	1,57

**Cuadro A.5. 3. Porcentaje de SAAM residual a varias dosis de coagulante quitosano para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación**

Dosis (mg/L)	Soda TEC	Soda Casa Luna	Soda ASETEC
0,0	100,00	100,00	100,00
6,0	84,48	83,55	83,59
15,0	68,27	67,14	67,19
10,0	57,07	40,73	50,78
20,0	35,86	34,33	34,38
25,0	19,66	17,92	17,97
30,0	3,45	1,35	1,57
35,0	4,02	1,57	1,83
40,0	4,60	1,80	15,09

**Cuadro A.5. 4. Porcentaje de SAAM residual a varias dosis de floculante Callaway4893 para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación.**

Tiempo agitación (minutos)	RPM	dosis floculante Callaway4893	SAAM residual (%)
5	130	1,3	47,32
5	170	1,9	57,07
5	178	2,0	35,86
5	130	2,3	4,02
3	170	3,5	30,48
3	170	4,5	20,40
3	95	10,7	4,06

**Cuadro A.5. 5. Porcentaje de SAAM residual a varias dosis de floculante Hidroxicloruro de Aluminio con diferentes factores de dilución para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación**

Dilución	Soda	Tiempo de agitación (minutos)	RP M	Dosis Floculante Hidroxicloruro de Aluminio (mg/L)	Dosis quitosano (mg/L)	SAAM residual (%)
4 veces diluido			17			
	TEC	3	0	10,0	0,01	87,02
	Casa		17			
	Luna	3	0	10,3	0,01	69,24
	ASET		17			
	EC	3	0	9,8	0,01	76,4
10 veces diluido			10			
	TEC	3	0	6,3	0,01	57,07
	Casa		10			
	Luna	3	0	4,0	0,01	40,73
	ASET		10			
	EC	3	0	1,9	0,01	50,78
	TEC	3	90	5,0	0,03	3,45
	Casa					
	Luna	3	90	5,0	0,03	1,35
	ASET					
	EC	3	90	5,0	0,03	1,57

**Cuadro A.5. 6. Eficiencias de remoción de SAAM bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica en pruebas de coagulación-floculación**

Soda:	TEC	Casa Luna	ASETTEC
Eficiencia remoción	95,00	98,64	99,38
SAAM	96,49	98,65	97,71
(%)	94,44	99,11	98,75
	95,24	98,18	98,21
Promedio (%)	95,29	98,64	98,51

**Cuadro A.5. 7. Eficiencias de remoción de grasas y aceites bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica**

Soda:	TEC	Casa Luna	ASETEC
Eficiencia remoción	79,75	90,64	97,93
G y A	37,14	76,95	84,06
(%)	74,93	62,37	89,69
Promedio (%)	63,94	76,65	90,56

**Cuadro A.5. 8. Eficiencias de remoción de DQO bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica**

Soda	TEC	Casa Luna	ASETEC
Eficiencia	72,84	59,17	47,48
Remoción	71,56	69,18	44,74
DQO (%)	70,60	45,00	37,81
Promedio (%)	71,66	57,78	43,34

**Cuadro A.5. 9. Eficiencias de remoción de turbiedad bajo condiciones óptimas de coagulación-floculación para tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica**

Soda	TEC	Casa Luna	ASETEC
Eficiencia remoción	28,21	71,88	100,00
Turbiedad	40,99	64,58	100,00
(%)	50,60	70,00	100,00
	34,16	69,20	100,00
Promedio (%)	38,49	68,92	100,00

## ANEXOS

### ANEXO 1: UBICACIÓN DE LAS TRAMPAS DE GRASA EN LAS SODAS-COMEDOR

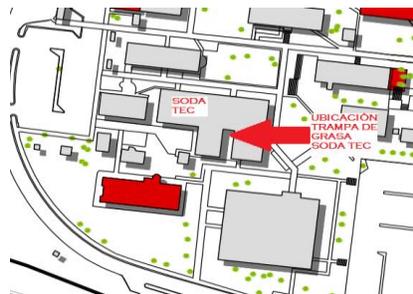


Figura A.1. 1. Ubicación TG Soda TEC. Fuente: Departamento de Ingeniería, 2016

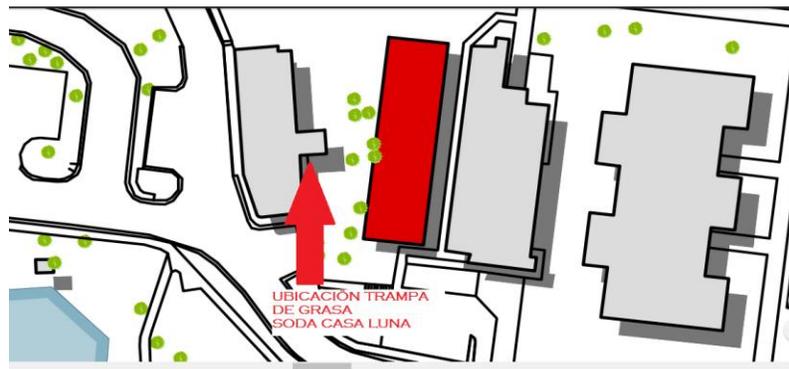


Figura A.1. 2. Ubicación TG Soda Casa Luna. Fuente: Departamento de Ingeniería, 2016

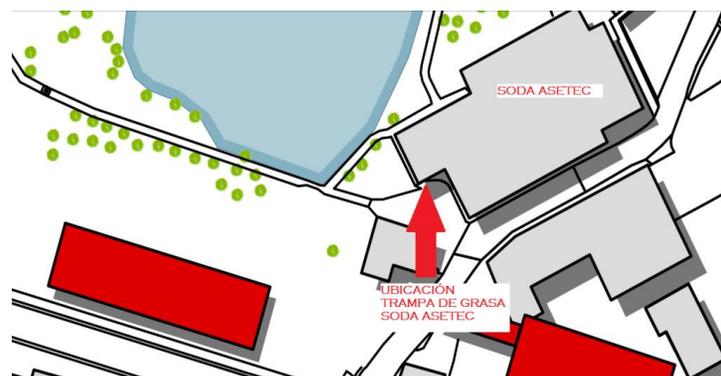


Figura A.1. 3. Ubicación TG Soda ASETEC. Fuente: Departamento de Ingeniería, 2016



## ANEXO 2: RECOPIACIÓN FOTOGRÁFICA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS

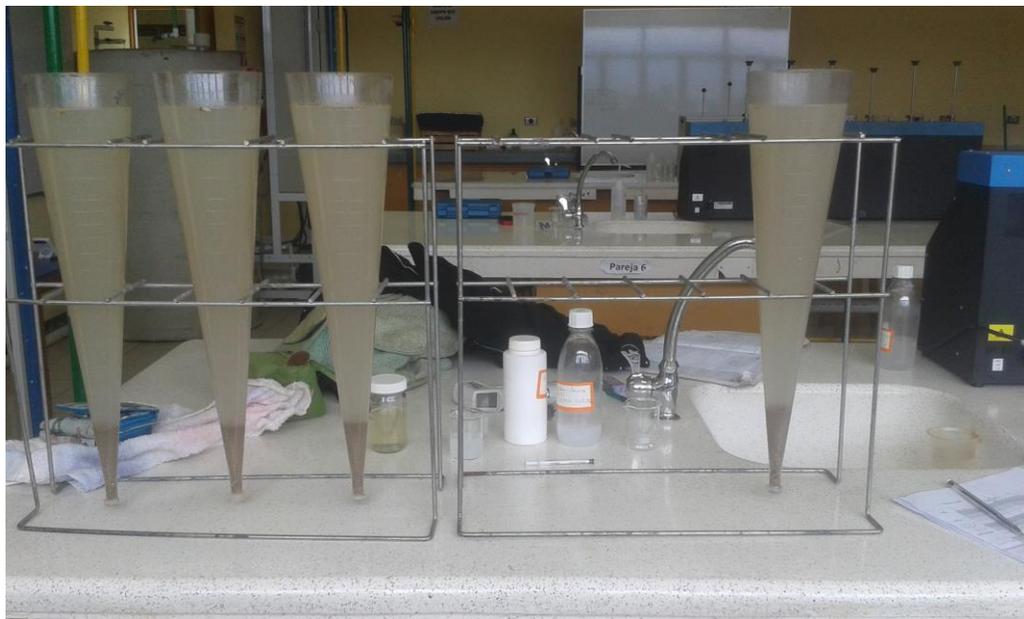


Figura A.2. 1. Prueba de sólidos sedimentables realizada a muestra de Soda ASETEC



Figura A.2. 2. Rotavapor para extraer el ar de la muestra de grasas y aceites



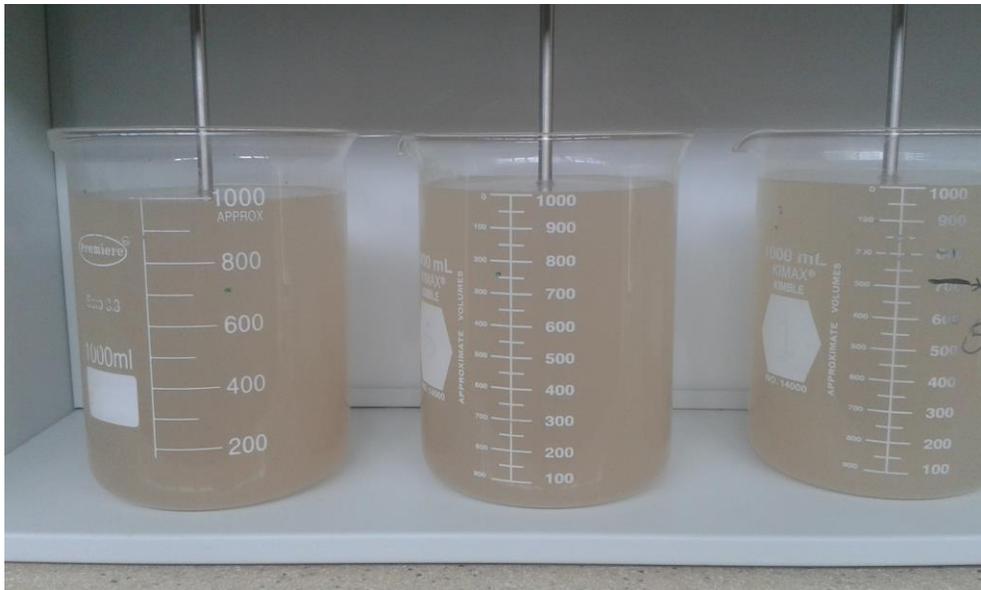
**Figura A.2. 3. Embudos de separación, Prueba de grasas y aceites**



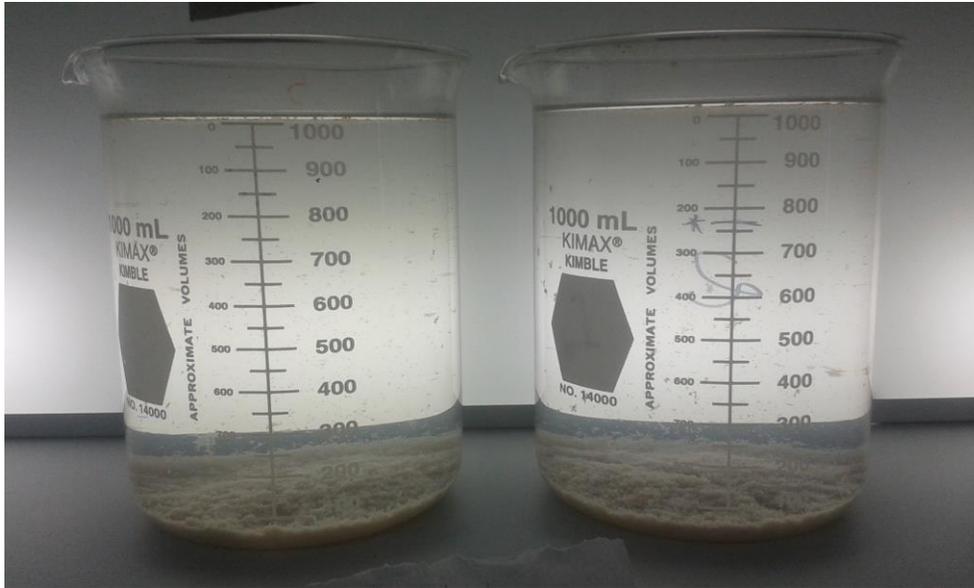
**Figura A.2. 4. Reactivos utilizados en las pruebas de SAAM**



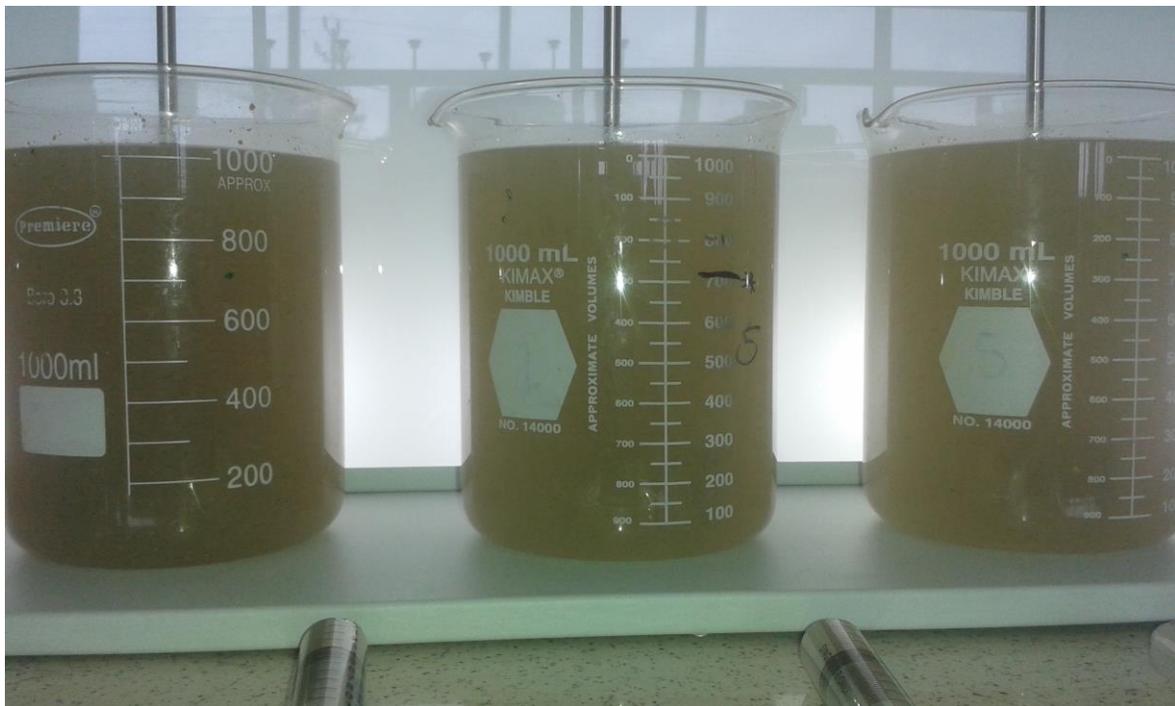
**Figura A.2. 5. Equipo de medición de SAAM**



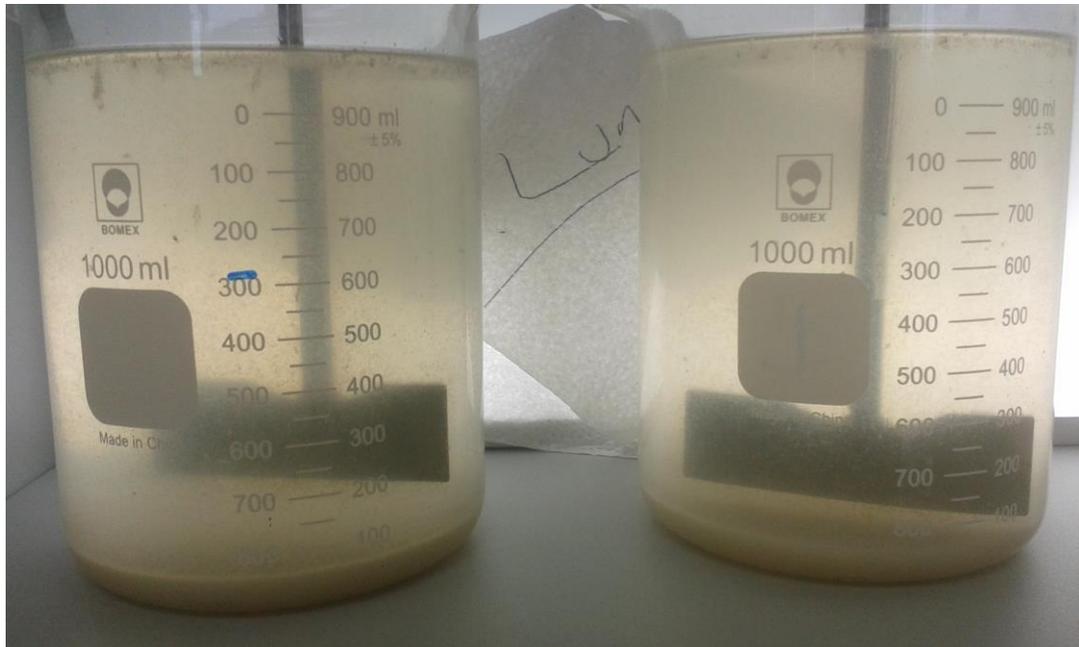
**Figura A.2. 6. Jarras con efluente de la trampa de grasa, Soda Tec previo a coagulación-floculación**



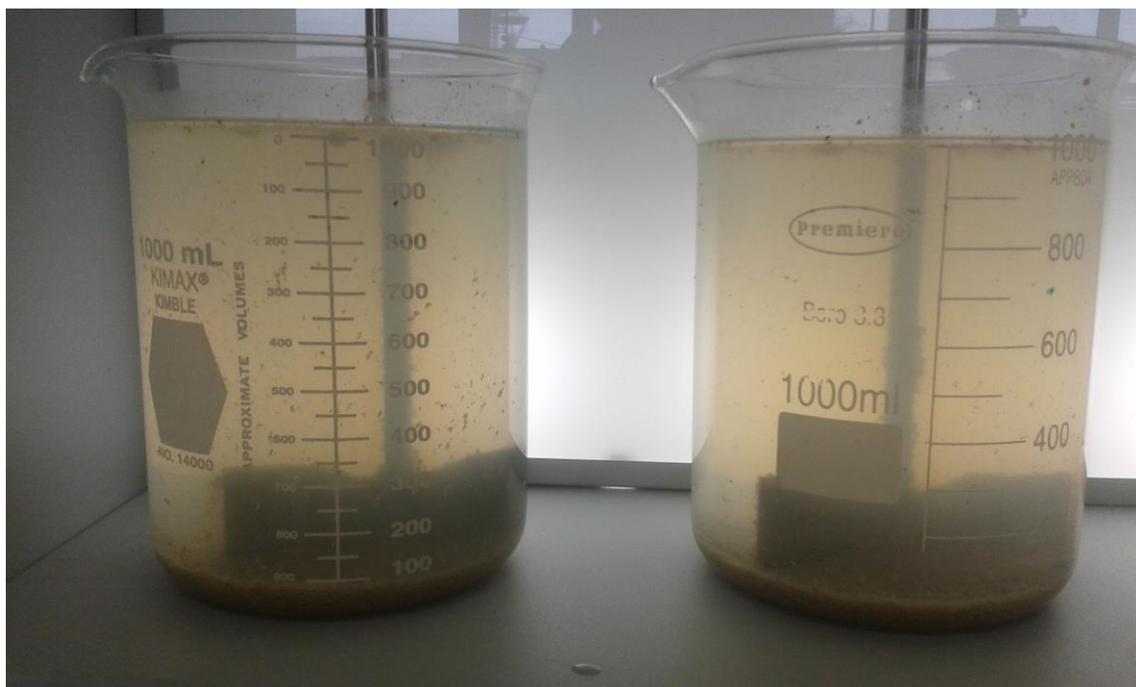
**Figura A.2. 7. Jarras con mejores condiciones de coagulación-floculación para Soda TEC bajo mejores condiciones, 8 de setiembre, 2016**



**Figura A.2. 8. Jarras con efluente de la trampa de grasa, Soda Casa Luna previo a coagulación-floculación**



**Figura A.2. 9. Jarras con mejores condiciones de coagulación-floculación para Soda Casa Luna bajo mejores condiciones, 8 de setiembre, 2016**



**Figura A.2. 10. Jarras con mejores condiciones de coagulación-floculación para ASETEC bajo mejores condiciones, 2 de setiembre, 2016**



Figura A.2. 11. Prueba de coagulación-floculación con floculante Callaway 4893 para Soda TEC.

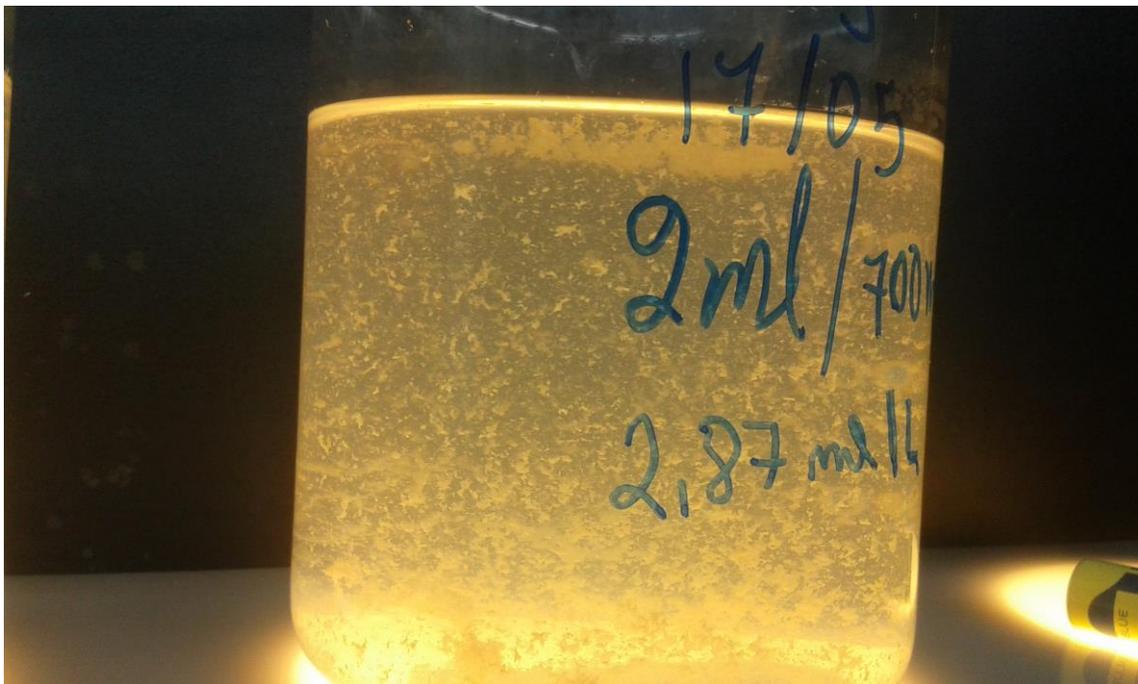


Figura A.2. 12. Dosis optima quitosano, sin proceso de floculación 24 de mayo para Soda TEC.

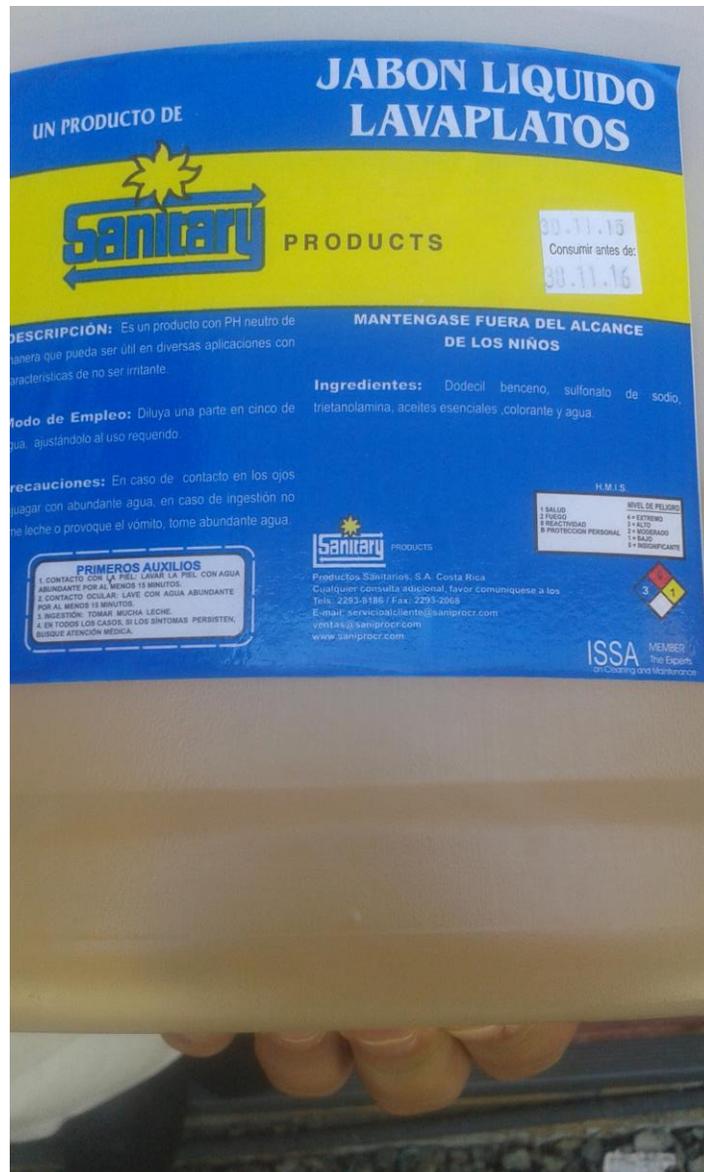


Figura A.2. 13Detergente utilizado en Soda TEC



Figura A.2. 14. Detergente utilizado en Casa Luna



Figura A.2. 15. Detergente utilizado en ASETEC

TEC | Tecnológico de Costa Rica

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Depto. de Administración de Mantenimiento**

No. BOLETA	No. SOLICITUD	DEPTO SOLICITANTE	ACTIVO
0	19006	Unidad Electromecanica	0
<b>DESCRIPCION DE LA SOLICITUD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>	
Favor limpiar trampas de grasa del Restaurante Institucional y Sodas Periféricas			
<b>SOLICITADO POR:</b>		<b>EDIFICIO</b>	DAM
rcervantes		<b>SISTEMA</b>	Fontaneria
<b>EXTENSION:</b>		<b>VoBo USUARIO</b>	
9266			
<b>UNIDAD</b>			
Electromecánica			
<b>FECHA DE SOLICITUD</b>			
4-abr-2016			

**Personal Asignado**

ENCARGADO	FECHA	HRS. ORDINARIAS	HRS. EXTRAS
Walter Serrano Vega	04/04/2016	0,00	0,00

13/08/2016 ← Efrain Obando → 7 horas  
 ← Walter Serrano Vega → 8 horas  
 27/08/2016 ← Efrain Obando → 9.5 horas + reparación  
 ← Walter Serrano Vega → en parques a un costado del lago

Figura A.2. 16. Formulario solicitud de limpieza de Trampas de Grasa

## **Elaboración y venta de comidas en casas**

### *55300 Elaboración y ventas de comidas en casas<sup>1</sup>*

<sup>(1)</sup> Los establecimientos que se encuentren en estas actividades deberán verter caudales mensuales menores a 30 metros cúbicos y contar con unidades separadoras de grasas y aceites en número y capacidad necesarios para el caudal de aguas residuales generadas. Los funcionarios del Ministerio de Salud encargados del visado sanitario de planos de construcción y permisos de funcionamiento por primera vez o de su renovación, velarán por el cumplimiento de esta disposición."

**Figura A.2. 17. Extracto de la reforma del Vertido Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales y Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento del Ministerio de Salud**