

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Tratamiento de efluentes de la industria alimentaria
por coagulación-floculación utilizando almidón de
Solanum tuberosum L. ‘papa’ como alternativa al
manejo convencional**

Tesis para optar el Título Profesional de
Licenciada en Biología

Bach. Jazmin Desider Molano Linares

PhD. José Alberto Iannacone Oliver

Director del proyecto de tesis

Lima, Perú

2016

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a todas las personas que me apoyaron económica, moral y anímicamente durante toda esta etapa. Ya sea con recursos, palabras o conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor y director de tesis, al Dr. José Iannacone Oliver por guiarme a realizar esta investigación.

A las personas que confiaron en mí para poder realizar mi tesis en las instalaciones de su empresa. Principalmente al ingeniero Marco Kamego Kohatsu, al ingeniero Raúl Gloria Arias y a la bióloga Peggy Córdova Coronado.

Agradezco a mis padres. A mi padre Jorge Molano, por enseñarme que nunca debo conformarme y que siempre debo aspirar a más. A mi madre Julia Linares, por darme todas las herramientas a su alcance para poder lograr cada una de mis metas.

A mis mejores amigos de la vida, José Alvarado y Gyanina Araujo porque en una hora de conversar con ustedes me río tanto que se me olvida el estrés de toda una semana.

Al ingeniero Arturo De Los Santos, sin su apoyo desde el inicio de mi carrera, nada de esto fuese posible.

Finalmente, infinitas gracias al Genetista y Biotecnólogo Jhonatan Alva. Por no sólo guiarme por todo este periplo, si no por siempre cuidarme física y anímicamente en el proceso del mismo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	4
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	9
I. INTRODUCCIÓN	12
II. ANTECEDENTES	15
2.1. Coagulación-floculación: Agentes químicos	15
2.2. Coagulación-floculación: Agentes orgánicos	19
III. JUSTIFICACIÓN	22
3.1. Justificación Ambiental	22
3.2. Justificación Normativa	23
3.3. Justificación Socio-Económica:	24
3.4. Justificación Educativo-Científico	25
IV. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	26
4.1. Hipótesis	26
4.2. Objetivo general	26
4.3. Objetivos específicos:	26
V. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1. Lugar de ejecución	27
5.2. Tipo de investigación	27
5.3. Operacionalización de variables	27
5.4. Tipo de muestra	29
5.5. Caracterización del agua residual no doméstica	29
5.6. Lugar de recolección	29

5.7.	Procedimiento de recolección	30
5.8.	Pre-tratamiento por filtración	30
5.9.	Ensayo de prueba de jarras	31
5.9.1.	Reactivos utilizados en el ensayo de la prueba de jarras	33
5.9.2.	Pruebas de variación de pH	35
5.9.3.	Etapas del ensayo de la prueba de jarras	36
5.10.	Medida de los parámetros fisicoquímicos	36
5.10.1.	Absorbancia	36
5.10.2.	Turbidez	37
5.10.3.	DQO	38
5.11.	Medida de los porcentajes de remoción y reducción	38
5.12.	Comparación de la absorbancia con la turbidez	38
5.13.	Comparación de la turbidez con la DQO	39
VI.	RESULTADOS	40
6.1.	Caracterización del agua residual no doméstica	40
6.2.	Medida de los parámetros fisicoquímicos	42
6.2.1.	Absorbancia: Barrido espectral	42
6.3.	Ensayo de prueba de jarras	44
6.3.1.	Pruebas de variación de pH	44
6.3.2.	Pruebas cualitativas considerando el parámetro: Índice de Willcomb	44
6.3.3.	Pruebas preliminares considerando el parámetro: absorbancia.	50
6.3.4.	Pruebas finales considerando los parámetros: turbidez y demanda química de oxígeno	61
6.4.	Comparación de la absorbancia con la turbidez de todos los ensayos finales	80
6.5.	Comparación de la turbidez con la DQO de todos los ensayos finales	81
VII.	DISCUSIÓN	83
VIII.	CONCLUSIONES	88
IX.	RECOMENDACIONES	91
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables involucradas en el tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación- floculación utilizando almidón de <i>S. tuberosum</i> L. como alternativa al manejo convencional. _____	28
Tabla 2. Características de la prueba de jarras realizada para el efluente de la industria alimentaria. ____	32
Tabla 3. Índice de Willcomb. _____	33
Tabla 4. Pruebas de variación de pH en el efluente no doméstico de la industria alimentaria. _____	35
Tabla 5. Ensayo de prueba de jarras: Diferentes etapas y sus características. _____	36
Tabla 6. Valores obtenidos a partir de una muestra compuesta de efluente no doméstico de la industria alimentaria. _____	40
Tabla 7. Valores obtenidos a partir de una muestra puntual de efluente no doméstico de la industria alimentaria. _____	41
Tabla 8. Barrido espectral de la muestra inicial “Mi” de efluente no doméstico de la industria alimentaria. _____	42
Tabla 9. Pruebas de variación de pH del efluente no doméstico de industria alimentaria. _____	44
Tabla 10. Prueba cualitativa 1: sulfato de aluminio y poliacrilamida aniónica. _____	45
Tabla 11. Prueba cualitativa 2: policloruro de aluminio y poliacrilamida aniónica. _____	46
Tabla 12. Prueba cualitativa 3: sulfato de aluminio y almidón gelatinizado. _____	47
Tabla 13. Prueba cualitativa 4: sulfato de aluminio y almidón gelatinizado. _____	48
Tabla 14. Prueba cualitativa 5: sulfato de aluminio y almidón gelatinizado. _____	49
Tabla 15. Resultados del ensayo preliminar 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%. 50	
Tabla 16. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	51
Tabla 17. Resultados del ensayo preliminar 2: sulfato de aluminio 1,5 % y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	52
Tabla 18. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	53
Tabla 19. Resultados del ensayo preliminar 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	54
Tabla 20. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	55
Tabla 21. Resultados del ensayo preliminar 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	56
Tabla 22. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	57

Tabla 23. Resultados del ensayo preliminar 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%. _	58
Tabla 24. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%. _____	59
Tabla 25. Resultados del ensayo preliminar 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%. _____	60
Tabla 26. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%. _____	61
Tabla 27. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 1. _____	62
Tabla 28. Resultados del ensayo final 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%. ____	62
Tabla 29. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	63
Tabla 30. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 2. _____	65
Tabla 31. Resultados del ensayo final 2 para sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _	65
Tabla 32. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	66
Tabla 33. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 3. _____	68
Tabla 34. Resultados del ensayo final 3 para policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	68
Tabla 35. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	69
Tabla 36. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 4. _____	71
Tabla 37. Resultados del ensayo final 4 para policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	71
Tabla 38. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%. _____	72
Tabla 39. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 5. _____	74
Tabla 40. Resultados del ensayo final 5 para sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%. ____	74
Tabla 41. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%. _____	75
Tabla 42. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 6. _____	77
Tabla 43. Resultados del ensayo final 6 para policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%. 77	

Tabla 44. *Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 5: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.* _____ 78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lugar de recolección de las muestras de efluente no doméstico de la industria alimentaria.	30
Figura 2. Pre-tratamiento por filtración del efluente no doméstico de industria alimentaria.	31
Figura 3. Sólidos sedimentables presentes en el efluente no doméstico de la industria alimentaria	31
Figura 4. Curva de absorbancia vs. longitud de onda del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria	43
Figura 5. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez en el ensayo final 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.	64
Figura 6. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%	64
Figura 7. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.	67
Figura 8. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.	67
Figura 9. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.	70
Figura 10. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.	70
Figura 11. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.	73
Figura 12. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.	73
Figura 13. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.	76
Figura 14. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.	76
Figura 15. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.	79
Figura 16. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.	79
Figura 17. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez de todos los ensayos finales.	80
Figura 18. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez de	80
Figura 19. Comparación de la turbidez con la DQO de todos los ensayos finales.	82

RESUMEN

Se evaluó el tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de *Solanum tuberosum* L. ‘papa’ como alternativa al manejo convencional. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio realizando la prueba de jarras con dos coagulantes: sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, y dos floculantes: poliacrilamida aniónica y almidón gelatinizado, con variaciones en relación a dosis, concentración y velocidad. Para determinar los parámetros ideales se utilizaron las siguientes variables respuesta: índice de Willcomb, absorbancia, turbidez y demanda química de oxígeno. El mejor tratamiento fue con el coagulante policloruro de aluminio y el floculante poliacrilamida aniónica alcanzándose un porcentaje de reducción de DQO de 83,05%. Aun así, los resultados al utilizar almidón sugieren que se puede reemplazar la poliacrilamida aniónica por el almidón de *S. tuberosum* al aplicar un tratamiento primario a un efluente industrial no doméstico de una empresa alimentaria ubicada en el distrito de Ate en la ciudad de Lima, Perú para cumplir los Valores máximos admisibles del Decreto Supremo N°021-009-Vivienda, en el aspecto de la carga orgánica presente.

Palabras clave: Almidón, carga orgánica, demanda química de oxígeno, efluente industrial, prueba de jarras, turbidez, valor máximo admisible.

ABSTRACT

Treatment of industrial wastewater was evaluated through coagulation-flocculation using starch of *Solanum tuberosum* L. 'potato' as an alternative to the conventional management. Assays were performed in a laboratory scale by performing Jar Test with two coagulants: aluminum sulfate and aluminum polychloride, and two flocculants: anionic polyacrylamide and gelatinized starch, making variations in dose, concentration and speed. To determine the ideal parameters, the following response variables were used: Willcomb index, absorbance, turbidity and chemical oxygen demand. The best treatment was when using aluminum polychloride as coagulant and anionic polyacrylamide as flocculant, reaching a reduction percentage of 83,05% in chemical oxygen demand. Even then, the results suggest that can the anionic polyacrylamide can be replaced by starch of *S. tuberosum* when applying a primary treatment to industrial wastewater from a food company located in the district of Ate in Lima, Perú to meet the admisible values set in the Supreme Decree No. 021-009-VIVIENDA, in the aspect of organic matter present in it.

Keywords: Starch, organic matter, chemical oxygen demand, industrial wastewater , jar test, turbidity, admisible values

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, donde el desarrollo industrial es vertiginoso, se nota muy claramente un crecimiento en los niveles de contaminación ambiental, dañando los ecosistemas acuáticos aledaños por la descarga de los efluentes industriales sin tratamiento previo ni control de las autoridades correspondientes. A pesar de la legislación existente para el control, no se ejecutan en todas las industrias por razones económicas, técnicas y administrativas, entre otras. Por ello en el Perú, en el año 2009, se definieron los Valores Máximos Admisibles (VMA) en el Decreto Supremo N°021-2009-Vivienda. Donde se describe a los VMA como la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado.

Luego en el año 2011, se aprueba su reglamento en el Decreto Supremo N°003-2011-Vivienda, lo que puso en alerta a muchas industrias alimentarias, debido a que la carga orgánica permitida en sus efluentes estaría ahora limitada por 2 parámetros: la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). Para la primera el valor máximo admisible es 1000mg-L-1 y para la segunda sólo 500mg-L-1. La preocupación va enfocada en que se verían obligados a implementar un tratamiento rápido, económico y que no ocupe mucho espacio, para cumplir con estas disposiciones.

El distrito de Ate, en Lima, Perú alberca una gran variedad de industrias. Entre ellas, la industria alimentaria que produce principalmente salsa de soya (conocida como siyau). Este es un producto natural utilizado con frecuencia como sazonador en gran variedad de comidas nacionales y extranjeras; se obtiene del prensado de fermentos de soya remojados en salmuera añejados por meses. El “siyau” se elabora principalmente mediante cuatro ingredientes básicos: soja, trigo, sal y agua. Las características singulares de la salsa de soya se originan principalmente de las proteínas contenidas en la soya. Mientras que, los carbohidratos contenidos en el trigo son el componente que da a la salsa de soya el aroma, y además el trigo le agrega la dulzura a esta salsa; la sal se disuelve en agua. Esta sal y solución de agua controla la propagación de las bacterias durante el proceso de elaboración y actúa como conservante. La fermentación de todos los ingredientes, es esencial para conferir el sabor de la salsa de soja, y se logra a través

del hongo *Aspergillus* (Micheli, 1729). Así, la soya y el trigo aportan gran carga orgánica a los efluentes industriales de esta empresa. Haciendo necesaria la implementación de un tratamiento adecuado.

Un proceso de tratamiento de agua residual típico se conforma por: Pretratamiento: Pretende la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total. Tratamiento primario: Consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos floculentos bien mediante sedimentación o coagulación-floculación. Seguidamente, tratamiento secundario: Su finalidad es la reducción de la materia orgánica una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario.

Para que la transformación biológica se haga efectiva y de manera eficiente, deben existir condiciones adecuadas para el crecimiento bacteriano, considerando temperatura (30-40°C), oxígeno disuelto, pH adecuado (6,5-8,0) y salinidad (menor a 3.000 ppm). En estos procesos, existen sustancias inhibidoras como sustancias tóxicas, metales pesados y otros como cianuros, fenoles y aceites, por este motivo es necesario evitar la presencia de éstos. Este tratamiento implica tener más espacio en planta, más mantenimiento y más monitoreo si se desea implementar. Y finalmente, tratamiento terciario: Es opcional y tiene como propósito reutilizar el agua tratada.

Los efluentes residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, ó sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, y las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación reduciendo de esta manera también la carga orgánica presente. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando velocidad de mezclado.

Generalmente, los coagulantes y floculantes utilizados son aditivos minerales que incluyen sales metálicas tales como cloruro de polialuminio y polímeros sintéticos, como la poliacrilamida. El uso de estas sustancias químicas puede tener varias

consecuencias ambientales como el incremento en la concentración de metal en el agua, que puede tener implicaciones en la salud humana, la producción de grandes volúmenes de lodos y la dispersión de oligómeros de acrilamida que puede también ser un peligro para la salud. Es así como las nuevas tendencias en los procesos de coagulación-floculación aplican el uso de biopolímeros naturales como coadyuvante de coagulación por su comportamiento ecológico y bajo coste, entre ellos el almidón.

El almidón contiene generalmente alrededor del 20% de una sustancia soluble en agua llamada amilosa y el 80% de una insoluble conocida como amilopectina. Ambas fracciones corresponden a dos carbohidratos diferentes, de peso molecular elevado. Tanto la amilosa como la amilopectina están constituidas por unidades de D-(+)-glucosa, pero difieren en tamaño y forma.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se desarrolló considerando los problemas de contaminación de los ecosistemas acuáticos por los efluentes industriales no tratados. Así, el objetivo principal del trabajo fue proponer un tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de *Solanum tuberosum* L. 'papa' como alternativa al manejo convencional.

II. ANTECEDENTES

2.1. Coagulación-floculación: Agentes químicos

Unda (1976) señala que la simulación de los procesos de coagulación-floculación y sedimentación del tratamiento físico químico se realiza mediante la prueba de jarras, ensayo que se utiliza desde principios del siglo veinte como un método experimental para determinar la dosis óptima de coagulante y las características de la mezcla que permiten obtener los mejores resultados en el proceso de sedimentación. El método experimental consiste en un equipo compuesto por paletas de velocidad controlable que giran dentro de vasos, buscando reproducir las condiciones de operación de la planta. Variando la cantidad de agente coagulante aplicado a las diferentes jarras que contienen muestras del agua servida a tratar, es posible determinar la dosis óptima de coagulante a utilizar. El procedimiento en la prueba de jarras consiste en agregar las sustancias químicas, luego se hacen girar las paletas a gran velocidad, por corto tiempo, y luego se disminuye la velocidad para tener una suave turbulencia, por un tiempo más largo. Terminada esta etapa se deja sedimentar el agua y se determinan aquellos que han logrado un mejor rendimiento y se realizan los análisis respectivos para determinar la dosis óptima de coagulante a utilizar.

Godé (1983) afirma que la combinación de las sales metálicas con polímeros genera mejores rendimientos en el tratamiento de aguas, que la aplicación de sólo sales metálicas. Enuncia que la floculación está condicionada por una serie de factores que determinan su eficacia en el proceso de separación de la fase sólido/líquido, como son: la dosis óptima del polímero; la adecuada agitación, a mayor peso molecular del polímero se consigue adsorber un mayor número de moléculas; a mayor densidad de sólidos se favorece la estabilidad de los flóculos; la dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido, es decir que al aumentar el tamaño o superficie de la partícula se reduce la dosis de floculante; el efecto de pH afecta la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos y a la cantidad de carga libre que configura el polímero en disolución, por ello los polímeros aniónicos son más efectivos a pHs entre 7 y 14, y menciona que una temperatura elevada no favorece la floculación.

González (1983) define a los polielectrólitos como polímeros de alto peso molecular que contienen unidades de bajo peso molecular combinadas químicamente para formar una molécula de tamaño coloidal en las que cada una de ellas tiene una o más cargas o grupos ionizables. Y los clasifica como: naturales, almidones y sus derivados, polisacáridos de compuestos celulósicos y ciertos compuestos proteínicos. Estos originan precipitados voluminosos que sedimentan rápidamente. Y tienen la propiedad de recubrir a las partículas minerales de una película que favorece la adhesión de éstas a los flóculos de hidróxido. Sintéticos: Pequeñas moléculas portadoras de carga eléctrica, polimerizadas formando largas cadenas.

Leal et al. (1998) clasifica a los floculantes en 3 clases: 1) No iónicos, poliacrilamidas, de tipo no iónico en disolución acuosa a pH neutro. En medio ácido o básico puede adquirir carácter aniónico por hidrólisis parcial de los grupos amida. 2) Aniónicos, polímeros de acrilamida-acrilato, en medio ácido los grupos carboxílicos pueden no estar ionizados, de manera que no se manifiesta el carácter aniónico del polímero. 3) Y catiónicos, amplio conjunto a base de poliacrilamidas catiónicas y poliaminas, con diversos pesos moleculares y grados de cationicidad. Especialmente aplicados a pH ácido.

Bourke (2000) menciona que los coagulantes en la mayoría de los casos tienen una carga positiva que neutraliza la carga negativa que generalmente tienen las partículas en aguas residuales, esto reduce las fuerzas de repulsión entre estas, favoreciendo la aglutinación de partículas y la formación de flocs que sedimentan más rápido. Junto a la adición de un coagulante en ocasiones se utiliza una pequeña dosis de polímero que en algunos casos permite reducir la dosis de coagulante utilizada mejorando la eficiencia de remoción en el tratamiento.

Company (2000) señala que en cuanto a los coagulantes, normalmente sales de hierro y aluminio, son los reactivos usados en el proceso de desestabilización coloidal-adsorción superficial, por neutralización de cargas eléctricas, para constituir un agregado precipitante. Estas sales trivalentes son muy abundantes, económicas y eficaces por su carga elevada, a diferencia de otras sales como el calcio y el sodio, cuya capacidad de reducción del potencial eléctrico es menor. Además menciona que la concentración crítica de coagulante disminuye aproximadamente unas 30 veces por cada carga positiva añadida que tenga el metal, así el efecto de coagulación de Al^{3+} , es unas 11 veces

mayor que el del Ca^{2+} y 730 veces mayor que el de Na^+ . Por otro lado, el tamaño relativo del ión también es importante, pues podrá adsorberse con más facilidad a un contraión pequeño.

Ghaly et al. (2006) realizaron un tratamiento químico de aguas residuales de filtros de grasa, usando tres agentes coagulantes diferentes (sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico). Se llevaron a cabo 2 sets de experimentos. En el primer experimento se probó varias concentraciones de cada coagulante, para elegir el agente coagulante más efectivo, se midió la reducción de la cantidad de sólidos totales y la claridad del agua. En el segundo experimento, se usó el agente coagulante más efectivo para determinar la influencia de la temperatura y el pH en la eficiencia del proceso de coagulación/sedimentación. El sulfato de aluminio fue el agente coagulante más efectivo, ya que redujo la cantidad de sólidos totales en un 90% (comparado al 88 y 28% para el cloruro férrico y sulfato ferroso respectivamente). Además, encontraron que no hubo beneficio en variar la temperatura y/o el pH del medio. El proceso fue efectivo a un pH de 9,5 y a temperatura ambiente.

Sánchez (2007) trabajó con aguas residuales de la industria del corcho y estudió los procesos físico-químicos de coagulación, floculación y sedimentación. Para ello, en la coagulación efectuó la prueba de jarras en volúmenes de un litro de muestra del agua residual, adicionó la dosis calculada del coagulante y lo mezcló mediante agitación a 300rpm. Luego, procedió a realizar la floculación añadiendo el floculante y disminuyendo la velocidad de agitación a 40rpm. Por otro lado, para la coagulación con sulfato de aluminio utilizó diferentes velocidades de agitación, varios tiempos de mezcla y diferentes dosis, donde concluye que estos parámetros dependen de la carga orgánica de la muestra, además que una dosis baja de coagulante disminuye el coste del reactivo y mejora el proceso de eliminación de materia orgánica y sedimentación en el tratamiento de coagulación-floculación. Por otro lado, informa que la reducción de detergentes mediante la coagulación puede ser de hasta 20% y de fosfatos, color, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno hasta más de 60%.

Alcarraz et al. (2010) dieron tratamiento primario a los efluentes de una planta procesadora de pulpa de frutas. Para ello, evaluaron la eficacia de dos coagulantes (sulfato de aluminio y polycat CS-5460) y un floculante anfotérico “2PNOD2R” en la reducción del potencial contaminante de los efluentes a través de la remoción de la

materia orgánica, disminución de las unidades nefelométricas de turbidez y la demanda bioquímica de oxígeno. En el caso del sulfato de aluminio, de un valor de 205 NTU redujo la turbidez a 6,8 NTU y la demanda bioquímica de oxígeno de un valor de 5650 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ redujo a 383 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Area et al. (2010) disminuyeron los sólidos totales en suspensión de efluentes de pulpados quimimecánicos y semiquímicos, usando sales de hierro y aluminio como coagulantes y lograron reducciones del color, carbono orgánico total y turbidez de aproximadamente un 90%. En el tratamiento de precipitación química con policloruro de aluminio (PAC) fue más eficiente que con sulfato de aluminio, logrando reducciones de aproximadamente 95% en color y 40 % de DQO sobre el efluente. Con sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante y polímeros como floculantes (en dosis entre 500 y 1250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y pH entre 4 y 9), se han reportado altas reducciones de turbidez, sólidos totales y demanda química de oxígeno (99%, 99,4% y 90 % respectivamente). Utilizando policloruro de aluminio (PAC) como coagulante sobre diferentes, se encontró que con una dosis de 3 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ se elimina aproximadamente el 80% de la DQO y el 90% del color.

Castrillón y De Los Ángeles (2012) realizaron ensayos de tratabilidad con el coagulante sulfato de aluminio granulado TIPO B con el fin de determinar las dosis óptimas requeridas para la remoción de turbiedad y color del agua en la Planta de tratamiento de agua de Villa Santana en Colombia. Realizaron pruebas de jarras. Los resultados arrojaron una remoción de turbidez y color. Además sobre el sulfato de aluminio mencionan que si se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{3+} y SO_4^{2-} . El Al^{3+} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal. Y además, el Al^{3+} puede también combinarse con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio. Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que absorbe iones positivos en solución para formar un sol (o coloides liofóbicos que siempre son sustancias de alta insolubilidad en el medio dispersante, suelen ser agregados de pequeñas moléculas) cargado positivamente. Dicho sol neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a completar la aglomeración.

Salas (2012) realizó un tratamiento físico-químico de aguas residuales de la industria textil, donde documentó la influencia de concentraciones de reactivos usados y de las

variaciones de condiciones de tratamiento para obtener condiciones óptimas de operación. Los rendimientos obtenidos son el 70% en la remoción de DQO y de DBO5, el 80% para la remoción de tinte. Se concluye que el tratamiento físico químico de aguas residuales de industrias textiles es altamente eficaz usando una combinación de sal de aluminio como coagulante y un polímero aniónico de peso molecular medio y carga aniónica media (15 meq.g) como floculante.

2.2. Coagulación-floculación: Agentes orgánicos

Como alternativa a los agentes químicos, al inicio de los años setenta, en varios países latinoamericanos se propuso utilizar polímeros naturales extraídos de especies vegetales (Antov et al., 2010).

Vásquez (1994) señala que los polímeros naturales se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y plantas. Además poseen una compleja estructura química y que por lo general están constituidos por varios tipos de polisacáridos y proteínas. Informa que algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son utilizados en forma empírica por las comunidades nativas para aclarar el agua turbia con muy buenos resultados.

Beltrán et al. (2009) emplearon dos coagulantes naturales, uno de ellos fue un agente basado en taninos y el segundo fue un extracto de la semilla de *Moringa oleifera* (Lamarck, 1785). Ambos agentes demostraron altas eficiencias de remoción de colorantes sintéticos aunque sugirieron que la concentración del colorante es un factor clave en el desempeño del proceso de coagulación-floculación.

Anastasakis et al. (2010) evaluaron el poder floculante del mucílago de plantas herbáceas de la familia Malvaceae (malvas e hibiscos) al emplear como agente coagulante sales de aluminio en el tratamiento de efluentes de diversa naturaleza. Los resultados demostraron que el mucílago de hibiscos requiere de menores dosis para obtener las mismas eficiencias de remoción de partículas suspendidas, aunque ambos floculantes fueron incapaces de disminuir el contenido de carbono orgánico disuelto. Los autores sugieren que la misma naturaleza orgánica de los floculantes propuestos evita la disminución de este parámetro de calidad del agua.

Flores et al. (2004) destacan al almidón como una fracción importante de un gran número de productos agrícolas, tales como cereales (maíz, trigo, arroz) cuyo contenido de este carbohidrato es de 30-80%; leguminosas (frijol, chícharo, haba) con 25-50%; tubérculos (papa, yuca) en los que el almidón representa 60-90%; y que algunas frutas como el plátano y el mango, que en su estado verde o inmaduro alcanzan contenidos de almidón de hasta 70% en base seca.

Järnström (1995) analizó la floculación de suspensiones de caolín mediante almidón modificado. Se usó un almidón modificado catiónicamente por un proceso de oxidación. Para lo cual usó poliacrilato de sodio de bajo peso molecular como agente dispersor que facilita la floculación. Luego analizó la remoción de turbiedad, mediante un sensor de fibra óptica. Posteriormente analizó el efecto de la temperatura y la fuerza iónica. Se encontró lo siguiente: i) el almidón mostró ser efectivo como floculante en un rango de temperatura de 23 a 50°C, incluso en bajas concentraciones, ii) el almidón en general presentó menos efectividad cuando la suspensión de caolín era pretratada con poliacrilato de sodio, iii) el efecto de la temperatura sobre la floculación fue significativa solamente para algunas concentraciones de sal y de poliacrilato de sodio. Las mediciones de adsorción indicaron que el almidón utilizado lograba la floculación del caolín mediante un mecanismo de formación de puente.

Dogu & Arol (2004) consideraron la remoción de minerales de feldespatos, mediante floculación usando almidón. Usaron almidón de maíz como floculante, y NaOH y HCl para ajustar el pH. La adsorción de almidón por el feldespatos fue menor que la adsorción por minerales color oscuro (DCM). La adsorción de almidón es óptima para pH en el rango 3-6. Se concluyó que los DCM tienen afinidad por el almidón, y pueden ser removidos por floculación con almidón.

Mantilla (2013) evaluó la capacidad coagulante del almidón nativo y modificado de plátano cuatro filos (Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe) sin gelificar y gelificado, para determinar su posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas. Extrajo el almidón nativo para su posterior modificación mediante el método de acetilación, con un rendimiento de 42,47%, y a partir de 80% para este almidón modificado. Utilizó como variables de respuesta: turbidez, alcalinidad, pH, color y dureza. Luego a los tratamientos denominados como mejores comparó a partir de resultados de carga microbiana y DQO. Los tratamientos denominados como mejores fueron 15 ppm para el

alumbre, 15ppm para almidón nativo y 25ppm para almidón modificado. Ambos análisis evidenciaron que no hay necesidad de modificar el almidón ni de gelificarlo, ya que son pocas las diferencias estadísticas entre un tratamiento y otro para la mayoría de las variables de respuesta. La DQO y la carga bacteriana tuvieron una relación directa. Y además el almidón nativo obtuvo una DQO más baja con respecto al modificado.

Rincón et al. (2014) analizaron la remoción de turbiedad en agua proveniente de una fuente natural del sector El Cerro de Oro de la ciudad de Manizales (Colombia), mediante coagulación/floculación, usando almidón de plátano. Plantearon un diseño experimental factorial aleatorio de cuatro factores variables, a saber: pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta. Se realizaron pruebas de jarras para determinar los valores óptimos de dichos factores. El almidón de plátano mostró ser adecuado como ayuda de floculación, aunque se presentó una sedimentación lenta. La mejor eficiencia de remoción de turbiedad se obtuvo para los siguientes valores de los factores: pH de 5, 50:50 porcentaje en peso de la combinación sulfato de aluminio/almidón de plátano, velocidad de mezcla rápida de 150rpm y velocidad de mezcla lenta de 20rpm.

En el Perú, en el año 2015, se trataron efluentes textiles procedentes de la empresa Franky y Ricky S.A. (Arequipa-Peru) por procesos de coagulación-floculación utilizando los agentes comerciales Perifloc y $Al_2(SO_4)_3$ y almidón de *Triticum aestivum* L. como ayudante del proceso. Se determinó la capacidad de tratamiento mediante la determinación del grado de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Sólidos suspendidos totales (SST), pH, temperatura y absorbancia de luz (grado de coloración). Debido a las variación de DQO, DBO, SST y absorbancia de los efluentes textiles, se establecieron dosis óptimas de aplicación de los agentes coagulantes-floculantes para el tratamiento de efluentes con alta y baja carga de colorantes. El uso de almidón de *T. aestivum* mostró buena capacidad de ayuda de proceso de tratamiento de efluentes textiles al ser aplicados sobre la mitad de la dosis optima de Perifloc en dosis de $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ para el caso de efluentes con alta carga de colorantes y $0,05 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ para los de baja carga, logrando obtener efluentes tratados con buenas características para su descarga a los sistemas de alcantarillado según los VMA. (Alatrística et al., 2015).

III. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se justifica por los siguientes puntos:

3.1. Justificación Ambiental

La norma no sólo beneficia al sistema de alcantarillado de la ciudad de Lima sino que el cumplimiento de estos VMA también involucra una serie de beneficios al medio ambiente. La principal preocupación recae en el aspecto ambiental ya que las plantas de tratamiento no están preparadas para tratar ese tipo de residuos tóxicos, por lo tanto si no se da un adecuado tratamiento a estos residuos irán finalmente al mar o al río generando impacto negativo en la salud y en el ecosistema. La presencia de sustancias nocivas por encima de los VMA en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado, pone en peligro la salud pública y causa impactos negativos en el ambiente; puesto que podrían generar gases tóxicos, aniegos por desagües en la vía pública por incremento de atoros y colapso de la red, o no ser eliminadas a través de las plantas de tratamiento de aguas residuales y llegar al mar o al río afectando el ecosistema. Así, se contribuye a prevenir la contaminación de cursos de agua y cuerpos receptores como el río Rímac que es la principal fuente de abastecimiento para nuestra ciudad, y no sólo son los residuos sólidos y las aguas hervidas que caen por tubos artesanales de las casas a riberas del río los que contaminan el agua. El mayor contaminante de las aguas del este río son los vertimientos por aguas residuales industriales (60%), según la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2012). Son 28 vertimientos que generan que diferentes químicos y metales pesados se mezclen en el recorrido del río al atravesar Lima. Y actualmente existen problemas en el tratamiento de estas aguas residuales, dado que las plantas de tratamiento de Sepadal son sistemas netamente biológicos, que pueden tratar aguas residuales de tipo doméstico, no pueden tratar aguas residuales industriales.

3.2. Justificación Normativa

El Estado Peruano ha establecido en los últimos años un nuevo marco de políticas hídricas, en las que destacan claramente, la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, la Ley de Recursos Hídricos 29338 y su Reglamento, y el Plan Nacional de Recursos Hídricos. En lo que respecta a la calidad de los recursos hídricos, la magnitud de la problemática identificada con el Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos del 2012, plantea la urgencia de desarrollar una estrategia nacional para mejorar la calidad del agua en el país a fin de lograr la reducción de los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento, entre otros; con participación activa de la sociedad organizada, y una gestión institucional fortalecida que articula los diferentes actores institucionales y sociales involucrados en la gestión de la calidad del agua. Dada la magnitud y las particularidades de la problemática de la calidad de los recursos hídricos se ampliaron los alcances y detalles de las políticas de estado sobre la gestión de los recursos hídricos. Entre las grandes líneas de acción de la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos está la recuperación de la calidad de los recursos hídricos, que comprende básicamente en reducir la carga contaminante aportada por vertimientos de aguas residuales. Las acciones estratégicas que se plantean en ésta línea de acción pretenden contribuir a recuperar la calidad del agua que en las últimas décadas ha sido deteriorada por las aguas residuales vertidas directamente, sin tratamiento o con tratamiento deficiente, a los cuerpos de agua; especialmente las aguas residuales domésticas y/o municipales y las aguas residuales de empresas industriales diversas.

Para ello, propusieron que todas las aguas residuales domésticas o municipales del país sean tratadas adecuadamente, antes de su descarga a los cuerpos naturales de agua; así mismo promover intervenciones para minimizar el vertimiento de contaminantes mediante la formalización de usuarios vertedores que incluye a la minería informal, la fiscalización de los vertimientos y la gestión de calidad de los procesos productivos que incluyan minimización y acondicionamiento de las aguas residuales a ser dispuestos en el cuerpo receptor. Asimismo, incluye una mejora de las regulaciones para la implementación de proyectos de infraestructura de agua potable y saneamiento que incluya la identificación y ejecución de soluciones de tratamiento de las aguas residuales producidas (ANA, 2012).

3.3. Justificación Socio-Económica:

En términos económicos, la capital peruana “Lima” concentra más del 75% de la producción industrial y es el centro financiero del país. Los principales rubros económicos son la industria, el comercio y los servicios. Entre las empresas que descargan mayores desechos tóxicos, la industria alimentaria y de bebidas, sobresale por descargar gran cantidad de materia orgánica. Las industrias, en especial, y los comercios tuvieron cuatro años para implementar un tipo de tratamiento que redujera la carga contaminante de sus desechos. Si bien no se tiene identificado el total de usuarios que actualmente incumplen los valores de los parámetros establecidos en la normativa de los VMA, se conoce que en Lima y Callao existen alrededor de 70 mil usuarios “no domésticos”, de los cuales 9 400 son industrias y 60 400 son comercios. Según un monitoreo de la Sociedad Nacional de Industrias, el 70% de las empresas está en capacidad de cumplir con ambos anexos de la norma. Las empresas grandes ya tratan sus aguas residuales porque es una exigencia de calidad en sus procesos. Pero es entre las pequeñas y medianas empresas donde hay problemas. El 30% que no puede cumplir por ahora se divide entre las empresas que piden modificar el valor máximo admisible de sulfatos señalado en la norma y aquellas que por su tamaño no tienen un espacio para acondicionar una planta de tratamiento.

Los VMA buscan controlar el ingreso de material contaminante en la red de alcantarillado que tanto perjuicio causa en la infraestructura como son las tuberías, las estaciones de bombeo y las plantas de tratamiento de aguas residuales. Al controlar estos parámetros se reducirían las incidencias operativas en el alcantarillado, que actualmente suman 3,600 al mes. De acuerdo a la normativa que regula los VMA, el responsable de hacerse cargo del cumplimiento de los VMA son las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento en todo el territorio peruano, en el caso de Lima y Callao, es Sedapal. La norma ya está vigente desde el 5 de setiembre de 2013, lo que ha ocasionado que las industrias que no dan tratamiento a sus efluentes comiencen a interesarse más por este tema. En los últimos cinco años, Sedapal ha monitoreado a 5.200 empresas y 3.000 de ellas no trataban sus aguas o no cumplían con los parámetros establecidos. Estas serían las primeras en ser fiscalizadas bajo el nuevo estándar. Lo que obliga a las industrias a hacer un análisis de costo-beneficio e implementar un sistema de tratamiento a sus aguas residuales industriales (Escalante, 2013).

3.4. Justificación Educativo-Científico

El proceso de coagulación-floculación consiste en que las partículas coloidales presentes en el agua se aglomeren formando pequeños gránulos con un peso específico superior al del agua llamados flocs. La carga eléctrica de la superficie de las partículas coloidales es el factor que contribuye, en la mayor medida, a su estabilidad a largo plazo, ya que las partículas que tendrán tendencia a formar aglomerados son repelidas mutuamente por sus cargas eléctricas. En la coagulación ocurre la desestabilización de estas partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas, mientras que en el proceso de floculación ocurre el transporte de ellas dentro del líquido para que las partículas ya desestabilizadas choquen unas con otras para formar coágulos mayores; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua mejore su calidad (Valencia, 2000). Para asegurar que las aguas residuales industriales cumplan con los VMA dentro de un costo manejable aparte de utilizar coagulantes y floculantes químicos convencionales, se probará la eficiencia del almidón de papa como una alternativa al tratamiento convencional.

IV. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1. Hipótesis

El almidón de papa es igual de eficiente que la poliacridamida aniónica como floculante en el tratamiento primario de los efluentes de una industria alimentaria.

4.2. Objetivo general

Proponer un tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de *S. tuberosum* ‘papa’ como alternativa al manejo convencional.

4.3. Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros óptimos en la prueba de jarras utilizando como coagulante sulfato de aluminio y como floculante poliacridamida aniónica.
- Establecer los parámetros óptimos en la prueba de jarras utilizando como coagulante policloruro de aluminio y como floculante poliacridamida aniónica.
- Replicar estos parámetros en la prueba de jarras utilizando como coagulantes sulfato de aluminio y policloruro de aluminio con el floculante orgánico almidón *Solanum tuberosum* L. ‘papa’ por separado.
- Calcular la absorbancia a diferentes longitudes de onda y relacionar los datos con unidades nefelométricas de turbidez y así determinar la longitud de onda adecuada para determinar la turbidez.
- Utilizar las unidades nefelométricas de turbidez para relacionar la cantidad de carga orgánica presente en el efluente como demanda química de oxígeno.
- Determinar la eficiencia del almidón como floculante ante la poliacridamida aniónica.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Lugar de ejecución

Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la empresa patrocinadora. Ubicada en el distrito de Ate en la ciudad de Lima, Perú.

5.2. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo básica, prospectiva y experimental donde los elementos fueron manipulados, como la dosis de coagulante agregado, las revoluciones por min para la coagulación, la dosis del floculante y las revoluciones por min para la floculación.

5.3. Operacionalización de variables

Como se observa en la tabla 1, no se está considerando la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) debido a que este valor mantiene una relación directamente proporcional con la DQO donde, la DBO5 siempre es menor a la DQO ya que la DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido. Por su lado, la DBO5 es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Es por tanto una medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos. Se puede decir por tanto que la DBO5 representa la cantidad de materia orgánica biodegradable. Mientras que, la DQO representa tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable.

Tabla 1. Operacionalización de las variables involucradas en el tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación- floculación utilizando almidón de *S. tuberosum* L. como alternativa al manejo convencional.

Tipo de variables	Variables	Unidades	Definición
Intervinientes	pH	0 – 14	Concentración de protones H ⁺ de la muestra
	Temperatura	°C	Grados centígrados de la muestra
Independientes	Tiempo de coagulación		Tiempo de agitación rápida en el cual el coagulante entra en contacto con la muestra: 1 min
	Tiempo de floculación	Minutos (m)	Tiempo de agitación lenta en el cual el floculante reacciona con el coagulante en la muestra: 20 min
	Tiempo de sedimentación		Tiempo en el cual los flocs formados, después de la coagulación-floculación, sedimentan: 15 min
	Tipo de coagulante	-	Tipo de coagulante: sulfato de aluminio y policloruro de aluminio.
	Dosis de coagulante	mg·L-1	Cantidad de coagulante (mg) agregado a la muestra (L)
	Velocidad de coagulación	Revoluciones por minuto (rpm)	Revoluciones por minuto para la agitación rápida de la prueba de jarras: 160 ó 210
	Tipo floculante	-	Tipo de floculante: poliacrilamida aniónica o almidón gelatinizado
	Velocidad de floculación	Revoluciones por minuto (rpm)	Revoluciones por minuto para la agitación lenta de la prueba de jarras: 40 ó 75
Dosis de floculante	mg·L-1	Cantidad de floculante (mg) agregado a la muestra (L)	
Dependientes	Índice de Willcomb	0 – 10	Índice cualitativo que describe la calidad del coágulo/floc formado según su consistencia general y rapidez de sedimentación
	Absorbancia	-	Relación numérica entre la densidad de luz que incide sobre la muestra y la intensidad de la misma luz que sale la muestra
	Turbidez	Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)	Expresión de la propiedad óptica de una muestra, que origina que al pasar un haz de luz a través de ella, la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta
	DQO	mg·L-1	Concentración de la masa de oxígeno equivalente a la cantidad de dicromato consumida por la materia disuelta y suspendida cuando una muestra de agua se trata con este oxidante bajo condiciones definidas

5.4. Tipo de muestra

La industria de la cual se extrajo la muestra fue de tipo alimentaria, ubicada en el distrito de Ate, ciudad de Lima, Perú. Su principal producto es la salsa de soya “siyau”, la cual se obtenía por fermentación natural (hidrólisis enzimática fúngica) de soya y trigo en salmuera (sal y agua) para formar un producto de consistencia líquida, homogénea de color oscuro brillante con sabor salado y aroma característico. Los ingredientes involucrados en el proceso son: agua, soya, trigo, sal, azúcar, color caramelo (E150) y benzoato de sodio (E211). También se fabricaban otros productos como: Vinagre, Salsa Wantan, Salsa Mensi, Ajoikion, Shoyu y pastas a base de soya fermentada.

Por otro lado, la muestra de efluente industrial, aparte de contener alta carga orgánica por la materia prima que se utilizaba en el proceso de producción, también contenía los residuos de los productos de limpieza que se utilizaban para limpiar los pisos, paredes y equipos, como son detergentes industriales y sanitizantes.

En este trabajo de investigación se trabajó exclusivamente con el agua residual no doméstica proveniente de los procesos de la actividad industrial.

5.5. Caracterización del agua residual no doméstica

Se caracterizaron los efluentes no domésticos según los 23 parámetros que dictamina el Decreto Supremo N°021-009-Vivienda “Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario” (Anexo 1a). La toma de muestra puntual y compuesta y la conservación de la misma se realizó de acuerdo a la Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD (Anexo 1b).

5.6. Lugar de recolección

Se consideró un único punto de recolección donde desembocaban los efluentes industriales, más no domésticos, de la industria en mención. En este punto se reunían tres salidas de cada una de las áreas de la empresa: Koji, Moromi y Cocina/Producción.

Este punto de recolección se encontraba dentro de la empresa y era de fácil acceso ya que sólo tenía 1 m de profundidad, aproximadamente, como se observa en la figura 1.



Figura 1. Lugar de recolección de las muestras de efluente no doméstico de la industria alimentaria.

5.7. Procedimiento de recolección

Se obtuvieron las muestras en frascos de plástico limpios y desinfectados. Las muestras tuvieron un volumen de 2 L y se recolectaron cada h desde las 07:00 h hasta las 19:00 h. Se formó así una muestra compuesta de 24 L, la cual se conservó a 4-5°C de temperatura por un máximo de 24 h hasta su procesamiento.

5.8. Pre-tratamiento por filtración

La muestra compuesta de 24 L se filtró 3 veces con una tela sintética de 0,1 mm de porosidad, con el fin de librar a la muestra de sólidos gruesos. Como se observa en la figura 2, para esto se utilizaron embudos plásticos limpios y desinfectados, envases plásticos, baldes plásticos y una jarra plástica con la cual se distribuía el efluente lentamente para no levantar los sólidos sedimentables gruesos que se encontraban en el fondo del mismo. Esta operación se realizaba en menos de 20 min, en los cuales el efluente pasaba de temperatura de refrigeración a temperatura ambiente. Además, de los 24 L almacenados sólo se trabajó con 18 L, el resto se desechó debido a que contenía gran cantidad de material sedimentable como muestra la figura 3.



Figura 2. Pre-tratamiento por filtración del efluente no doméstico de industria alimentaria.



Figura 3. Sólidos sedimentables presentes en el efluente no doméstico de la industria alimentaria

5.9. Ensayo de prueba de jarras

Se realizó según la norma ASTM D2035-13 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water (Anexo 1c). Para ello, se utilizó un equipo floculador automático con 3 puestos en línea y 4 velocidades programables: 40, 75, 160 y 210 rpm. Asimismo, los parámetros previos y posteriores varían de acuerdo a la etapa en que se realizó el ensayo, como se detalla en la tabla 2. Además, entre los parámetros considerados para medir la eficiencia de los tratamientos se consideró al índice de

Willcomb, tal como se establece en la tabla 3 y se estima cuando culmina el tiempo de sedimentación y antes de captar las muestras sobrenadantes para su posterior análisis.

Por otro lado, los coagulantes y floculantes en solución se agregaron a los beakers “jarras” utilizando jeringas de un solo uso. De la misma manera, se utilizaron estas jeringas para recolectar el efluente sobrenadante con mucho cuidado para realizar los análisis post-tratamiento necesarios.

Tabla 2. Características de la prueba de jarras realizada para el efluente de la industria alimentaria.

	Coagulación	Floculación	Sedimentación
Tiempo (min)	1	20	15
Velocidad de agitación(rpm)	- 40 - 75	- 160 - 210	-
Reactivos	- Sulfato de aluminio - Policloruro de aluminio	- Poliacrilamida aniónica - Almidón gelatinizado	-
Parámetros previos*	- pH - Temperatura - Absorbancia - Turbidez - DQO		
Parámetros posteriores*	- Índice de Willcomb - Absorbancia - Turbidez - DQO		
Equipos	- Cronómetro - pH-metro portátil marca Hanna HI 9812 - Espectrofotómetro GENESYSTM 20 Thermo Fisher Scientific - Placa de calentamiento con horadaciones para los tubos de reacción de DQO (temperatura de 150°C ± 2°C)		

* Los parámetros previos y posteriores dependen de la etapa en que se realizó la prueba de jarras (se detalla más adelante)

Tabla 3. Índice de Willcomb.

Nº de índice	Índice de Willcomb
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible.
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que deposita fácil pero no completamente.
10	Bueno. Flóculo que deposita fácil y completamente.

5.9.1. Reactivos utilizados en el ensayo de la prueba de jarras

5.9.1.1. Coagulantes

5.9.1.1.1. Sulfato de Aluminio

Fue de tipo A food grade, tuvo apariencia sólida granulada de color blanco. Su presentación fue en una bolsa de polipropileno con liner interno de polietileno de 25 kg.

- Se pesó 15g de sulfato de aluminio y se vertió en una fiola de 1L donde se agregó el agua destilada necesaria para formar una disolución de 1,5%.
- Esta mezcla se traspasó a un beaker con una barra magnética dentro, el mismo que se puso sobre un agitador magnético por aproximadamente 10 min.
- Pasado este tiempo la disolución se traspasó a una botella de vidrio correctamente rotulada, limpia y desinfectada.

Esto se realizó cada día que fuese necesario. Cada vez que se preparó, se utilizó el mismo día.

5.9.1.1.2. Policloruro de Aluminio

El policloruro de aluminio o hidroxipolicloruro de aluminio, tenía apariencia líquida ámbar claro. Su presentación fue un cilindro plástico de 30kg.

Este producto se utilizó sin diluir, según especificaciones del fabricante, tenía una pureza de aluminio (Al_2O_3) de 18 a 22%. Se conservó en una botella de vidrio correctamente rotulada, limpia y desinfectada. Por otro lado, para calcular la dosis empleada en los ensayos de prueba de jarras se tomó como referencia la concentración de 20% por ser el número intermedio entre 18 y 22%, tomando en cuenta las especificaciones del fabricante.

5.9.1.2. Flocculantes

5.9.1.2.1. Poliacrilamida aniónica

La poliacrilamida aniónica seca de alto peso molecular, con nombre comercial Kemira Superfloc A-110®, tuvo apariencia sólida granulada de color blanco. Su presentación fue una bolsa de polipropileno con liner interno de polietileno de 25kg.

- Se pesó 0,1 g de poliacrilamida y se vertió en un beaker de 100 mL, correctamente rotulado, donde se agregó el agua destilada necesaria para formar una disolución de 0,1%.
- Se introdujo una barra magnética dentro del beaker y se colocó en un agitador magnético por aproximadamente 30 min.
- Pasado este tiempo se utilizó un cuadrado de papel aluminio para sellar la boca del beaker y se dejó reposar la disolución por 1 h antes de ser utilizada.

Esto se realizó cada día que fuese necesario. Cada vez que se preparó, se utilizó el mismo día.

5.9.1.2.2. Almidón de Solanum tuberosum L. ‘papa’

El almidón de *S. tuberosum* ‘papa’, tuvo apariencia sólida como polvo fino blanco. Su presentación fue una bolsa de polipropileno con liner interno de polietileno de 5 kg.

- Se pesó 3 g de almidón y se vertió en un beaker de 2 L con 1 L de agua destilada fría.
- Se calentó la muestra hasta ebullición en un agitador magnético con parrilla calefactora.

- Se dejó hervir por 15 min, sin dejar de agitar
- Pasado este tiempo, se traspasó el contenido a una fiola de 1L donde se agregó el agua destilada necesaria para formar una disolución de 0,3%.
- Se traspasó el contenido a una botella de vidrio correctamente rotulada, limpia y desinfectada.

Esto se realizó cada día que fuese necesario. Cada vez que se preparó, se utilizó el mismo día.

5.9.2. Pruebas de variación de pH

Como señala la norma ASTM D2035-13, se midió el pH inicial y el pH final de la muestra después del tratamiento. Por cuestiones de espacio y costo (previo acuerdo con la industria alimentaria patrocinadora) se decidió no modificar el pH inicial de la muestra. Por ello se realizaron pruebas de variación de pH para verificar que la muestra después del tratamiento aún cumpliera con los VMA es decir que se mantuviera entre 6 – 9 unidades de pH. Las especificaciones de esta prueba se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Pruebas de variación de pH en el efluente no doméstico de la industria alimentaria.

pH	Medición
pH_i	El pH inicial se tomó cuando la muestra estaba siendo sometida a una velocidad de agitación de 75rpm. No pasó por ningún tratamiento químico, sólo pasó por el pre-tratamiento de filtración anteriormente mencionado.
pH₂	El pH intermedio se midió después de haberse agregado el coagulante y haberse agitado por 1 min, aumentando la velocidad a 210rpm.
pH_f	El pH final se leyó después de agregarse el floculante y haberse agitado por 20min a 40rpm.

Tabla 5. Ensayo de prueba de jarras: Diferentes etapas y sus características.

Etapas	Parámetros iniciales	Parámetros posteriores	Número total de pruebas
Ensayos de prueba de jarras cualitativas	- Temperatura - Ph	- Índice de Willcomb - Tiempo de aparición del primer floc	5
Ensayos de prueba de jarras preliminares	- Temperatura - Ph - Absorbancia	- Índice de Willcomb - Absorbancia - Porcentaje de reducción de absorbancia	6
Ensayos de prueba de jarras finales	- Temperatura - pH - Absorbancia - Turbidez - DQO	- Absorbancia - Porcentaje de reducción de absorbancia - Turbidez - Porcentaje de remoción de turbidez - DQO - Porcentaje de reducción de DQO	6
Total			17

5.9.3. Etapas del ensayo de la prueba de jarras

El ensayo de prueba de jarras se dividió en 3 etapas para encontrar los mejores parámetros para el tratamiento del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria, los detalles se explican en la tabla 5. En todas las etapas, cada tratamiento se realizó por triplicado.

5.10. Medida de los parámetros fisicoquímicos

5.10.1. Absorbancia

Se consideró la longitud de onda 560nm, debido a que la intensidad del color caramelo se mide a 560nm (FAO, 2000). El color caramelo era el causante del color presente en el efluente no doméstico de la industria alimentaria ya que a la salsa de soya “siyau” se le agrega color caramelo para que el producto tome ese color oscuro característico.

Además, se realizó un barrido espectral con el espectrofotómetro GENESYS™ 20 Thermo Fisher Scientific desde 350 a 1110 con intervalos de 50, esto se realizó a 10 muestras iniciales compuestas de efluente industrial no doméstico después de su respectivo pre-tratamiento de filtrado. Para realizar esto se siguió el procedimiento a continuación descrito:

- Se encendió el equipo 15 min antes de realizar cualquier lectura, para estabilizar la intensidad de luz.
- Se colocó la longitud de onda deseada.
- Se graduó el espectrofotómetro con el blanco, agua destilada, y se llevó a cero.
- Se retiró el blanco y se colocó la muestra de efluente con mucho cuidado.
- Se esperó que estabilice la lectura.
- Y se anotó el valor de la lectura.
- Se repitió el procedimiento para cada lectura.

Seguidamente, se realizó la curva absorbancia vs. Longitud de onda para determinar a longitud de onda de máxima absorción, para considerarla como variable respuesta de los tratamientos.

5.10.2. Turbidez

Este parámetro se realizó en un laboratorio externo acreditado, debido a que no se contaba con un nefelómetro en la empresa patrocinadora y la adquisición de uno no estaba dentro del presupuesto de esta investigación. Por ello se consideró adecuado incluir en los objetivos de la tesis realizar una regresión con los datos de la absorbancia y la turbidez para poder realizar un monitoreo de los efluentes descargados al alcantarillado a nivel interno.

El laboratorio externo midió la turbidez de acuerdo a la norma: SM 2130B: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF22nd Ed. 2012, "EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Las muestras hasta ser recogidas se mantuvieron a temperatura de refrigeración y se siguieron todas las indicaciones requeridas por el laboratorio externo para la correcta conservación de la muestra tratada.

5.10.3. DQO

En el caso de la medida de la DQO de las muestras iniciales de los ensayos finales se realizó de manera interna. Ya que, como parte de esta investigación recién se estaba implementando dicho procedimiento se tomó la precaución de tercerizar la medida de DQO después del tratamiento. Entonces, de igual manera que la turbidez, se realizó en un laboratorio externo acreditado. Para ambos casos interno y externo se siguió los lineamientos de la norma: SM 5210B (APHA, 2012). Asimismo, Las muestras hasta ser recogidas se mantuvieron a temperatura de refrigeración y se siguieron todas las indicaciones requeridas por el laboratorio externo para la correcta conservación de la muestra tratada.

En el caso de esta variable respuesta, sólo se midió a los mejores resultados de remoción de turbidez en cada ensayo final.

Debido a que el cálculo de la DQO toma bastante tiempo e implicaba un costo adicional al Laboratorio de Físicoquímica de la empresa patrocinadora, se realizó una regresión con los datos de la turbidez y la DQO para poder realizar un monitoreo de la carga orgánica presente en los efluentes descargados al alcantarillado a nivel interno, a partir de los valores de turbidez que se podrían calcular al medir la absorbancia.

5.11. Medida de los porcentajes de remoción y reducción

Los porcentajes remoción y reducción de cada una de las variables respuesta se realizó con una regla de tres simple.

5.12. Comparación de la absorbancia con la turbidez

Se realizó una regresión entre todos los resultados de la absorbancia a dos longitudes de onda escogidas, con sus respectivos resultados de turbidez para establecer cuál de las dos longitudes de onda era la apropiada para tomar como referencia y calcular el grado de contaminación orgánica presente en el efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria, en vez de tomar la turbidez, ya que la empresa patrocinadora no contaba con un nefelómetro, pero sí contaba con un espectrómetro Espectrofotómetro

GENESYS™ 20 Thermo Fisher Scientific en su laboratorio de Fisicoquímica. Así, se tomó como coeficiente de determinación a R cuadrado y se pudo elegir la longitud de onda apropiada.

5.13. Comparación de la turbidez con la DQO

Se realizó una regresión entre todos los resultados de turbidez con sus respectivos resultados de DQO, para conocer el grado de correlación entre estas dos variables dependientes después de los tratamientos de todos los ensayos finales. De igual forma, se tomó como coeficiente de determinación a R cuadrado y se pudo calcular una fórmula con la cual se pudo conocer la cantidad de carga orgánica al relacionarla con la turbidez obtenida.

Como se mencionó anteriormente, en el caso de la DQO sólo se midió a los mejores resultados de turbidez para cada ensayo final, los demás quedaron como valores no determinados “NA”.

VI. RESULTADOS

6.1. Caracterización del agua residual no doméstica

Los valores obtenidos para esta caracterización inicial se detallan en las tablas 6 y 7:

Tabla 6. Valores obtenidos a partir de una muestra compuesta de efluente no doméstico de la industria alimentaria.

Parámetro	Expresión	Valor obtenido (mg·L ⁻¹)	VMA (mg·L ⁻¹)
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5	770	500
Demanda química de oxígeno	DQO	1777	1000
Sólidos suspendidos totales	SST	479	500
Aceites y grasas	A y G	22,3	100
Aluminio	Al	0,2646	10
Arsénico	As	0,0092	0,5
Boro	B	0,4376	4
Cadmio	Cd	0,0015	0,2
Cianuro	CN	0,004	1
Cobre	Cu	0,0139	3
Cromo hexavalente	Cr+6	0,0005	0,5
Cromo total	Cr	0,0033	10
Manganeso	Mn	0,067	4
Mercurio	Hg	0,00005	0,02
Níquel	Ni	0,0114	4
Plomo	Pb	0,013	0,5
Sulfatos	SO4-2	104,7	500
Sulfuros	S-2	0,02	5
Zinc	Zn	0,1350	10
Nitrógeno Amoniacal	NH+4	7,95	80

Tabla 7. Valores obtenidos a partir de una muestra puntual de efluente no doméstico de la industria alimentaria.

Toma	Sólidos Sedimentables (mL·L-1·h-1)	pH	Temperatura (°C)	Caudal (L·s-1)
1°	10,5	7,79	33,9	0,9
2°	13,5	8,15	26,8	0,9
3°	15	8,02	27,7	0,2
4°	14,5	7,88	25,4	1,2
5°	20,5	8,13	23,6	0,9
6°	15,5	7,66	26,8	0,1
7°	17	7,54	26,5	0,2
8°	20	7,96	35,5	0,5
9°	19,5	6,22	37,3	0,2
10°	17,5	7,82	24,9	0,2
11°	15,5	6,55	40,3	0,5
12°	10	7,97	39,3	1,0
VMA	8,5 mL/L/h	6 – 9	35 °C	NA

Como muestra la tabla 6, los dos únicos parámetros donde el efluente no cumple con los VMA es en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y en la demanda química de oxígeno (DQO), por ello es que el problema a resolver se enfoca en disminuir la carga orgánica en el efluente.

Además en la tabla 7, se nota que en algunas tomas de la muestra puntual del efluente a veces excede en sólidos sedimentables y en temperatura, estos problemas son más fáciles de tratar debido a que se pueden solucionar con un simple de pre-tratamiento de filtración y/o homogenización.

Es así como, se toma como parámetro de eficiencia de los tratamientos al DQO, que deberá mantenerse menor a 1000 para poder cumplir con los VMA.

6.2. Medida de los parámetros fisicoquímicos

6.2.1. Absorbancia: Barrido espectral

Tabla 8. Barrido espectral de la muestra inicial “Mi” de efluente no doméstico de la industria alimentaria.

Longitud de onda de Absorbancia (nm)	Mi1	Mi2	Mi3	Mi4	Mi5	Mi6	Mi7	Mi8	Mi9	Mi10
350	1,111	0,270	0,656	0,644	0,507	0,779	0,538	0,665	1,031	0,911
400	0,744	1,470	0,449	0,437	0,337	0,550	0,402	0,423	0,664	0,544
450	0,607	1,063	0,358	0,348	0,249	0,423	0,331	0,324	0,527	0,407
500	0,499	0,844	0,292	0,298	0,218	0,337	0,294	0,264	0,419	0,299
550	0,446	0,720	0,263	0,266	0,177	0,299	0,255	0,237	0,366	0,246
600	0,409	0,600	0,236	0,236	0,167	0,256	0,236	0,204	0,329	0,209
650	0,364	0,553	0,213	0,220	0,153	0,230	0,213	0,180	0,284	0,164
700	0,330	0,500	0,202	0,205	0,135	0,212	0,200	0,162	0,250	0,130
750	0,300	0,473	0,189	0,185	0,123	0,194	0,186	0,154	0,220	0,100
800	0,279	0,417	0,158	0,171	0,116	0,172	0,168	0,142	0,199	0,079
850	0,270	0,395	0,212	0,165	0,109	0,162	0,161	0,129	0,190	0,070
900	0,249	0,394	0,251	0,153	0,099	0,157	0,149	0,124	0,169	0,049
950	0,232	0,375	0,129	0,141	0,095	0,140	0,141	0,122	0,152	0,032
1000	0,225	0,351	0,127	0,135	0,089	0,129	0,132	0,116	0,145	0,025
1050	0,212	0,335	0,121	0,126	0,079	0,125	0,128	0,109	0,132	0,012
1010	0,211	0,317	0,121	0,120	0,075	0,117	0,121	0,105	0,131	0,011

Como expone la tabla 8 y la figura 4, en todos los casos la longitud de onda 350nm presenta la máxima absorción, excepto en una muestra “Mi2” donde hubo exceso de sólidos suspendidos. Por ello, se escogió la longitud de onda 350nm para calcular la absorbancia como parámetro de eficiencia de los tratamientos en los ensayos de la prueba de jarras. A parte de la longitud de onda 560nm que, como se mencionó anteriormente, se está considerando por el color caramelo presente en el efluente.

Por otro lado, debido a la gran variación de las mediciones se tomaron medidas en las áreas de producción para que el proceso se uniformice de tal manera que la muestra sea más uniforme en cuanto a sus características. Las tres medidas más importantes se enlistan a continuación:

- En cada área habían canaletas en el piso, donde se les prohibió a los operarios que desechen los restos de soya, trigo, koji, etc. Ahora, debían recogerlo con el uso de un jalador y recogedor y eliminarlo como residuo sólido.
- En el área de Moromi y Envasado, se implementó un lavado con salmuera a los equipos donde los restos debían entrar a reproceso y no ser enviados directamente al alcantarillado como se estaba manejando previamente.
- Y se realizaron capacitaciones para promover la concientización al personal operario en temas de VMA.

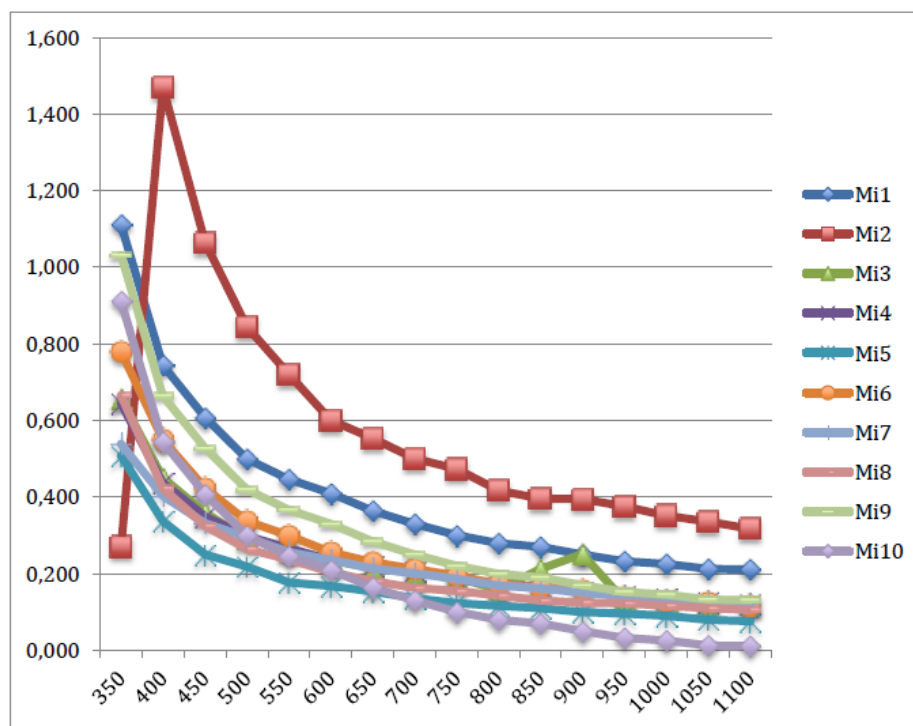


Figura 4. Curva de absorbancia vs. longitud de onda del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria

6.3. Ensayo de prueba de jarras

6.3.1. Pruebas de variación de pH

Las pruebas realizadas para determinar el cambio de pH antes y después de los tratamientos se detalla en la tabla 9.

Tabla 9. Pruebas de variación de pH del efluente no doméstico de industria alimentaria.

Prueba	pH _i	Coagulante	pH ₂	Floculante	pH _f
1	6,79	+ 255mg·L ⁻¹	6,5	+ 5 mg·L ⁻¹	6,53
2		Sulfato de	6,45	PAM	6,65
3		Aluminio	6,52		6,61
4	7,01	+ 100mg·L ⁻¹	6,92	+ 5 mg·L ⁻¹	6,9
5		PAC	6,96	PAM	6,94
6			6,94		6,91
7	6,88	+ 255mg·L ⁻¹	6,61	+ 350 mg·L ⁻¹	6,54
8		Sulfato de	6,6	Almidón	6,55
9		Aluminio	6,58	Gelatinizado	6,51
10	7,03	+ 100mg·L ⁻¹	6,93	+ 350 mg·L ⁻¹	6,9
11		PAC	6,94	Almidón	6,88
12			6,93	gelatinizado	6,89

Ya que el pH inicial “pHi”, intermedio “pH2” y final “pHf” se mantienen dentro del rango aceptado por los VMA, es decir de 6 – 9, en adelante sólo se tomó el pH inicial para asegurar de esa manera que el pH final también cumpliría con los VMA.

6.3.2. Pruebas cualitativas considerando el parámetro: Índice de Willcomb

6.3.2.1. Sulfato de aluminio y Poliacrilamida aniónica

Como se observa en la tabla 10. El sulfato de aluminio al 0,1% y 0,5% no produjo ninguna formación de floc, Mientras que la concentración 2,0% y 2,5 % tardaron pocos seg para la aparición del primer floc pero, fueron difíciles de preparar debido a que la solución se saturaba, por ello quedaron descartadas para usarse posteriormente.

Tabla 10. Prueba cualitativa 1: sulfato de aluminio y poliacrilamida aniónica.

Cód.	Dosis de sulfato de aluminio (mg·L ⁻¹)	Conc. de sulfato de aluminio (%)	Dosis de PAM (mg·L ⁻¹)	Conc. de PAM (%)	Tiempo de aparición de primer floc	Índice de Willcomb
I1		0,1			No formó	0
I2		0,1			No formó	0
I3		0,1			No formó	0
I4		0,5			No formó	1
I5		0,5			No formó	1
I6		0,5			No formó	1
I7		1,0			40''	4
I8		1,0			40''	4
I9	300	1,0	5	0,1	40''	4
I10		1,5			11''	10
I11		1,5			11''	10
I12		1,5			11''	10
I13		2,0			10''	10
I14		2,0			10''	10
I15		2,0			10''	10
I16		2,5			14''	8
I17		2,5			14''	8
I18		2,5			14''	8

Así, sobresalió la concentración 1,5% que sólo tardó 11 seg para formar el primer floc y que obtuvo 10 en el índice de Willcomb. Se eligió la concentración 1,5% de peso de sulfato de aluminio en volumen de agua destilada para continuar en los ensayos preliminares.

En el caso de la poliacrilamida aniónica se siguieron las indicaciones del fabricante para preparar la concentración correcta que fue de 0,1% de peso en volumen de agua destilada.

6.3.2.2. Policloruro de aluminio y Poliacrilamida aniónica

Debido a que el policloruro de aluminio ya se recibió en solución del proveedor, no se realizaron pruebas cualitativas para determinar su concentración, sólo para determinar la dosis correcta.

Tabla 11. Prueba cualitativa 2: policloruro de aluminio y poliacrilamida aniónica.

Cód.	Dosis de policloruro de aluminio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Conc. de policloruro de aluminio	Dosis de PAM ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Conc. de PAM (%)	Tiempo de aparición de primer floc	Índice de Willcomb
J1	20				14"	4
J2	20				14"	4
J3	20				14"	4
J4	40				9"	6
J5	40				9"	6
J6	40				9"	6
J7	60				6"	8
J8	60				6"	8
J9	60	20% de	5	0,1	6"	8
J10	80	Al_2O_3			3"	10
J11	80				3"	10
J12	80				3"	10
J13	100				1"	10
J14	100				1"	10
J15	100				1"	10
J16	120				1"	10
J17	120				1"	10
J18	120				1"	10

La tabla 11 muestra que cuando se probaron seis diferentes dosis de policloruro de aluminio, manteniendo constante la dosis de poliacrilamida aniónica y la concentración de la poliacrilamida aniónica, las mejores dosis de policloruro de aluminio fueron 100 y $120 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ya que para ambas el tiempo de aparición del primer floc fue de 1 seg, asimismo ambas tuvieron una puntuación de 10 en el índice de Willcomb indicando que el resultado fue bueno, floc que depositó fácil y completamente.

Se tomó como referencia este rango para continuar en las pruebas preliminares

6.3.2.3. Sulfato de aluminio y almidón gelatinizado

Tabla 12. Prueba cualitativa 3: sulfato de aluminio y almidón gelatinizado.

Cód.	Dosis de sulfato de aluminio (mg·L ⁻¹)	Conc. de sulfato de aluminio (%)	Dosis de almidón gelatinizado (mg·L ⁻¹)	Conc. de almidón gelatinizado (%)	Tiempo de aparición de primer floc	Índ. de Willcomb
K1			5			
K2			5			
K3			5			
K4			10			
K5			10			
K6			10			
K7			20			
K8			20			
K9			20			
K10	300	1,5	30	0,1	No formó	0
K11			30			
K12			30			
K13			40			
K14			40			
K15			40			
K16			50			
K17			50			
K18			50			

La tabla 12 expone que se probaron seis diferentes dosis de almidón gelatinizado, manteniendo constante la dosis en 0,1%. Asimismo, se mantuvo constante la concentración de sulfato de aluminio y su dosis.

Ya que todos los tratamientos obtuvieron 0 en el índice de Willcomb, indicando que el resultado fue un floc coloidal con ningún signo de aglutinación. Se realizaron más pruebas para determinar la concentración y dosis adecuadas del almidón gelatinizado.

Tabla 13. Prueba cualitativa 4: sulfato de aluminio y almidón gelatinizado.

Cód.	Dosis de sulfato de aluminio (mg·L ⁻¹)	Conc. de sulfato de aluminio (%)	Dosis de almidón gelatinizado (mg·L ⁻¹)	Conc. de almidón gelatinizado (%)	Tiempo de aparición de primer floc	Índ. de Willcomb
L1			120		No formó	0
L2			120		No formó	0
L3			120		No formó	0
L4			140		No formó	0
L5			140		No formó	0
L6			140		No formó	0
L7			160		No formó	0
L8			160		No formó	0
L9			160		No formó	0
L10	300	1,5	180	0,2	No formó	0
L11			180		No formó	0
L12			180		No formó	0
L13			200		40''	2
L14			200		40''	2
L15			200		40''	2
L16			220		30''	4
L17			220		30''	4
L18			220		30''	4

Se probaron seis diferentes dosis de almidón gelatinizado, manteniendo constante la dosis en 0,2%. Asimismo, se mantuvo constante la concentración de sulfato de aluminio y su dosis (Tabla 13).

Los resultados no fueron favorables tampoco, así que se realizaron más pruebas para determinar la concentración y dosis adecuadas del almidón gelatinizado.

Tabla 14. Prueba cualitativa 5: sulfato de aluminio y almidón gelatinizado.

Cód.	Dosis de sulfato de aluminio (mg·L ⁻¹)	Conc. de sulfato de aluminio (%)	Dosis de almidón gelatinizado (mg·L ⁻¹)	Conc. de almidón gelatinizado (%)	Tiempo de aparición de primer floc	Índ. de Willcomb
M1			240		20''	6
M2			240		20''	6
M3			240		20''	6
M4			270		22''	8
M5			270		22''	8
M6			270		22''	8
M7			300		17''	8
M8			300		17''	8
M9			300		17''	8
M10	300	1,5	330	0,3	20''	10
M11			330		20''	10
M12			330		20''	10
M13			360		19''	8
M14			360		19''	8
M15			360		19''	8
M16			390		16''	8
M17			390		16''	8
M18			390		16''	8

En la tabla 14 describe que se probaron seis diferentes dosis de almidón gelatinizado, manteniendo constante su dosis en 0,3%. Asimismo, se mantuvo constante la concentración de sulfato de aluminio y su dosis.

Así, la mejor dosis de almidón gelatinizado fue 330 mg·L⁻¹ ya que el tiempo de aparición del primer floc fue de 20 seg con una puntuación de 10 en el índice de Willcomb indicando que el resultado fue bueno, floc que deposita fácil y completamente.

Adicionalmente, se intentó preparar una disolución de almidón gelatinizado al 0,4% pero la solución presentó signos de saturación sin lograrse una dilución adecuada y se eligió la concentración al 0,3% para continuar con las pruebas preliminares.

6.3.3. Pruebas preliminares considerando el parámetro: absorbancia.

6.3.3.1. Ensayo preliminar 1: Sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%

Absorbancia inicial: 350nm = 0,472.

560nm = 0,269.

Tabla 15. Resultados del ensayo preliminar 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	pH _i	Temp. (°C)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Índ. de Willcomb	Absorbancia final	
			Coagulación		Floculación			350nm	560nm
A1			150	160			4	0,224	0,086
A2	6,93	16,2	255	160			8	0,135	0,016
A3			300	160			6	0,162	0,052
A4			450	160			6	0,177	0,058
A5	6,85	16,9	600	160			6	0,181	0,061
A6			750	160			6	0,189	0,065
A7			210	160			8	0,137	0,020
A8	6,88	17,4	255	160			8	0,136	0,018
A9			240	160	5	75	8	0,142	0,024
A10			150	210			4	0,222	0,082
A11	6,87	17,9	255	210			8	0,133	0,013
A12			300	210			6	0,161	0,050
A13			450	210			6	0,171	0,053
A14	6,83	18,1	600	210			6	0,179	0,059
A15			750	210			6	0,183	0,061
A16			210	210			8	0,134	0,017
A17	6,71	18,4	255	210			8	0,131	0,013
A18			240	210			8	0,137	0,021

Como se observa en la tabla 15, manteniendo constante la dosis de poliacrilamida aniónica 0,1% en 5 mg·L⁻¹ y la velocidad de floculación en 75 rpm, se probaron ocho dosis de sulfato de aluminio 1,5%, cada una con dos diferentes velocidades de coagulación: 160 rpm y 210 rpm.

Así, la mejor dosis fue $255 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de sulfato de aluminio al 1,5% al ejercerse la velocidad de coagulación de 210 rpm, ya que dio como resultado un porcentaje de reducción de 72,25% de absorbancia a 350nm y 95,17% a 560nm, como se exhibe en la tabla 16, en el tratamiento “A17”.

Tabla 16. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Código	Absorbancia inicial		Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)	
	350nm	560nm	350nm	560nm	350nm	560nm
A1			0,224	0,086	52,54	68,03
A2			0,135	0,016	71,40	94,05
A3			0,162	0,052	65,68	80,67
A4			0,177	0,058	62,50	78,44
A5			0,181	0,061	61,65	77,32
A6			0,189	0,065	59,96	75,84
A7			0,137	0,020	70,97	92,57
A8			0,136	0,018	71,19	93,31
A9	0,472	0,269	0,142	0,024	69,92	91,08
A10			0,222	0,082	52,97	69,52
A11			0,133	0,013	71,82	95,17
A12			0,161	0,050	65,89	81,41
A13			0,171	0,053	63,77	80,30
A14			0,179	0,059	62,08	78,07
A15			0,183	0,061	61,23	77,32
A16			0,134	0,017	71,61	93,68
A17			0,131	0,013	72,25	95,17
A18			0,137	0,021	70,97	92,19

6.3.3.2. Ensayo preliminar 2: Sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%

Absorbancia inicial: 350nm = 0,451.

560nm = 0,247.

Tabla 17. Resultados del ensayo preliminar 2: sulfato de aluminio 1,5 % y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	pH _i	Temp. (°C)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Índ. de Willcomb	Absorbancia final	
			Coagulación		Floculación			350nm	560nm
B1			195			75	6	0,137	0,019
B2	6,81	16,4	210			75	8	0,135	0,017
B3			225			75	8	0,133	0,016
B4			240			75	8	0,138	0,021
B5	6,86	16,7	255		3	75	8	0,141	0,022
B6			270			75	8	0,142	0,024
B7			210			40	8	0,133	0,015
B8	6,89	17,0	225			40	8	0,132	0,014
B9			240	210		40	8	0,136	0,020
B10			195			75	6	0,138	0,022
B11	6,93	17,3	210			75	8	0,134	0,017
B12			225			75	8	0,130	0,015
B13			240			75	8	0,136	0,021
B14	6,99	17,6	255		5	75	8	0,139	0,023
B15			270			75	8	0,142	0,024
B16			210			40	10	0,132	0,016
B17	7,02	17,8	225			40	10	0,129	0,013
B18			240			40	10	0,134	0,019

La tabla 17 expone que en el ensayo preliminar 2, se mantuvo constante la velocidad de coagulación a 210 rpm y se probaron seis diferentes dosis de sulfato de aluminio al 1,5% cada una con dos diferentes dosis de poliacrilamida aniónica al 0,1%: 3 y 5 mg·L⁻¹, y dos velocidades de floculación: 40 rpm y 75 rpm. Además, en la tabla 18 se exhibe que el mejor tratamiento fue adicionar 225 mg·L⁻¹ de sulfato de aluminio al 1,5% al ejercerse la velocidad de coagulación de 210 rpm, agregando 5 mg·L⁻¹ de poliacrilamida aniónica al 0,1% a una velocidad de floculación de 40 rpm, ya que dio como resultado un porcentaje de reducción de 71,40% de absorbancia a 350nm y 94,74% a 560nm, como lo muestra la tabla 18 en el tratamiento “B17”.

Tabla 18. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Código	Absorbancia inicial		Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)	
	350nm	560nm	350nm	560nm	350nm	560nm
B1			0,137	0,019	69,62	92,31
B2			0,135	0,017	70,07	93,12
B3			0,133	0,016	70,51	93,52
B4			0,138	0,021	69,40	91,50
B5			0,141	0,022	68,74	91,09
B6			0,142	0,024	68,51	90,28
B7			0,133	0,015	70,51	93,93
B8			0,132	0,014	70,73	94,33
B9	0,451	0,247	0,136	0,020	69,84	91,90
B10			0,138	0,022	69,40	91,09
B11			0,134	0,017	70,29	93,12
B12			0,130	0,015	71,18	93,93
B13			0,136	0,021	69,84	91,50
B14			0,139	0,023	69,18	90,69
B15			0,142	0,024	68,51	90,28
B16			0,132	0,016	70,73	93,52
B17			0,129	0,013	71,40	94,74
B18			0,134	0,019	70,29	92,31

Entonces al comparar el tratamiento preliminar 1 y el tratamiento preliminar 2, se concluye que el mejor tratamiento fue el “A17” con los siguientes parámetros: el coagulante sulfato de aluminio al 1,5% con la dosis $255 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 210 rpm y el floculante poliacrilamida aniónica 0,1% con la dosis $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y la velocidad de floculación en 75 rpm.

Así, estos parámetros se tomaron en cuenta en los tratamientos finales 1 y 2.

6.3.3.3. Ensayo preliminar 3: Policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%

Absorbancia inicial: 350nm = 0,453

560nm = 0,284

Tabla 19. Resultados del ensayo preliminar 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	pH _i	Temp. (°C)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Índ. de Willcomb	Absorbancia final	
			Coagulación		Floculación			350nm	560nm
C1			20	160			6	0,159	0,071
C2	7,14	16,7	40	160			6	0,096	0,035
C3			60	160			6	0,051	0,029
C4			80	160			8	0,045	0,017
C5	7,07	17,1	100	160			8	0,042	0,010
C6			120	160			8	0,044	0,011
C7			60	160			6	0,053	0,013
C8	7,04	17,4	80	160			8	0,044	0,012
C9			100	160	3	75	8	0,040	0,008
C10			20	210			6	0,158	0,069
C11	7,07	17,8	40	210			6	0,091	0,030
C12			60	210			6	0,048	0,026
C13			80	210			8	0,041	0,015
C14	7,03	18,0	100	210			8	0,038	0,009
C15			120	210			8	0,043	0,010
C16			60	210			6	0,050	0,011
C17	7,00	18,5	80	210			10	0,042	0,009
C18			100	210			10	0,035	0,006

En la tabla 19 se observa que en el ensayo preliminar 3, se mantuvo constante la dosis de floculante en 3 mg·L⁻¹ y la velocidad de floculación en 75 rpm, se probaron seis diferentes dosis de policloruro de aluminio 20% cada una con dos diferentes velocidades de coagulación: 160 rpm y 210 rpm.

Se descubrió que la mejor dosis fue 100 mg·L⁻¹ de policloruro de aluminio 20% al ejercerse la velocidad de coagulación de 210 rpm, ya que dio como resultado un porcentaje de reducción de 92,27% de absorbancia a 350nm y 97,89% a 560nm, como muestra el tratamiento “C18” (Tabla 20).

Tabla 20. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Código	Absorbancia inicial		Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)	
	350nm	560nm	350nm	560nm	350nm	560nm
C1			0,159	0,071	64,90	75,00
C2			0,096	0,035	78,81	87,68
C3			0,051	0,029	88,74	89,79
C4			0,045	0,017	90,07	94,01
C5			0,042	0,010	90,73	94,48
C6			0,044	0,011	90,29	96,13
C7			0,053	0,013	88,30	95,42
C8			0,044	0,012	90,29	95,77
C9	0,453	0,284	0,040	0,008	91,17	97,18
C10			0,158	0,069	65,12	75,70
C11			0,091	0,030	79,91	89,44
C12			0,048	0,026	89,40	90,85
C13			0,041	0,015	90,95	94,72
C14			0,038	0,009	91,61	96,83
C15			0,043	0,010	90,51	96,48
C16			0,050	0,011	88,96	96,13
C17			0,042	0,009	90,73	96,83
C18			0,035	0,006	92,27	97,89

6.3.3.4. Ensayo preliminar 4: Policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%

Absorbancia inicial: 350nm = 0,464.

560nm = 0,239.

Tabla 21. Resultados del ensayo preliminar 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	pH _i	Temp. (°C)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Índ. de Willcomb	Absorbancia final	
			Coagulación		Floculación			350nm	560nm
D1			40			75	8	0,093	0,031
D2	7,13	16,3	60			75	8	0,050	0,028
D3			80			75	10	0,043	0,017
D4			100			75	10	0,039	0,009
D5	7,10	16,7	120		5	75	10	0,045	0,010
D6			140			75	10	0,047	0,012
D7			60			40	10	0,051	0,030
D8	7,07	17,0	80			40	10	0,043	0,019
D9			100	210		40	10	0,040	0,011
D10			40			75	8	0,092	0,032
D11	7,05	17,5	60			75	8	0,051	0,030
D12			80			75	10	0,044	0,017
D13			100		3	75	10	0,040	0,010
D14	7,03	17,9	120			75	10	0,048	0,012
D15			140			75	10	0,048	0,013
D16			60			40	10	0,051	0,031
D17	7,00	18,4	80			40	10	0,046	0,021
D18			100			40	10	0,042	0,013

La tabla 21 muestra que en el ensayo preliminar 4, se mantuvo constante la velocidad de coagulación a 210 rpm, se probaron seis diferentes dosis de policloruro de aluminio 20% cada una con dos diferentes dosis de poliacrilamida aniónica al 0,1%: 3 y 5 mg·L⁻¹, y dos velocidades de floculación: 40 rpm y 75 rpm.

Concluyéndose que el mejor tratamiento fue adicionar 100 mg·L⁻¹ de policloruro de aluminio 20% al ejercerse la velocidad de coagulación de 210 rpm, agregando 5 mg·L⁻¹ de poliacrilamida aniónica al 0,1% a una velocidad de floculación de 75 rpm, ya que dio como resultado un porcentaje de reducción de 91,59% de absorbancia a 350nm y 96,23% a 560nm, como lo prueba la tabla 22 en el tratamiento “D4”.

Tabla 22. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Código	Absorbancia inicial		Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)	
	350nm	560nm	350nm	560nm	350nm	560nm
D1			0,093	0,031	79,96	87,03
D2			0,050	0,028	89,22	88,28
D3			0,043	0,017	90,73	92,89
D4			0,039	0,009	91,59	96,23
D5			0,045	0,010	90,30	95,82
D6			0,047	0,012	89,87	94,98
D7			0,051	0,030	89,01	87,45
D8			0,043	0,019	90,73	92,05
D9	0,464	0,239	0,040	0,011	91,38	95,40
D10			0,092	0,032	80,17	86,61
D11			0,051	0,030	89,01	87,45
D12			0,044	0,017	90,52	92,89
D13			0,040	0,010	91,38	95,82
D14			0,048	0,012	89,66	94,98
D15			0,048	0,013	89,66	94,56
D16			0,051	0,031	89,01	87,03
D17			0,046	0,021	90,09	91,21
D18			0,042	0,013	90,95	94,56

Entonces al comparar el tratamiento preliminar 3 y el tratamiento preliminar 4, se puede concluir que el mejor tratamiento fue el “D4” con los siguientes parámetros: el coagulante policloruro de aluminio al 20% con la dosis $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 210 rpm y el floculante poliacrilamida aniónica 0,1% con la dosis $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y la velocidad de floculación en 75 rpm.

Así, estos parámetros se tomaron en cuenta en los tratamientos finales 3 y 4.

6.3.3.5. Ensayo preliminar 5: Sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%

Absorbancia inicial: 350nm = 0,470.

560nm = 0,256.

Tabla 23. Resultados del ensayo preliminar 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.

Cód.	pH _i	Temp. (°C)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Dosis (mg·L ⁻¹)	Vel. (rpm)	Índ. de Willcomb	Absorbancia final	
			Coagulación		Floculación			350nm	560nm
E1					30	40	2	0,343	0,142
E2	6,91	16,5			150	40	6	0,301	0,109
E3					300	40	6	0,177	0,097
E4		16,7			270	40	6	0,186	0,076
E5	6,96				300	40	6	0,175	0,075
E6					330	40	6	0,171	0,071
E7					360	40	8	0,166	0,056
E8	6,99	17,1			420	40	8	0,130	0,045
E9			225	210	480	40	8	0,138	0,050
E10					30	75	2	0,392	0,150
E11	7,03	17,5			150	75	6	0,302	0,124
E12					300	75	8	0,179	0,102
E13					270	75	6	0,186	0,080
E14	7,06	17,8			300	75	8	0,177	0,077
E15					330	75	8	0,175	0,074
E16					360	75	8	0,169	0,059
E17	7,10	18,0			420	75	10	0,134	0,046
E18					480	75	8	0,142	0,050

La tabla 23 exhibe que se mantuvo constante la dosis de coagulante en 225 mg·L⁻¹ y la velocidad de coagulación en 210 rpm, se probaron ocho diferentes dosis de almidón gelatinizado 0,3% cada una con dos diferentes velocidades de floculación: 40 rpm y 75 rpm.

Así, como muestra la tabla 24 en el tratamiento “E8”, la mejor dosis de floculante para 225 mg·L⁻¹ de sulfato de aluminio al 1,5% al ejercerse la velocidad de coagulación de 210 rpm, fue agregar 420 mg·L⁻¹ de almidón gelatinizado al 0,3% con una velocidad de floculación de 40 rpm ya que dio como resultado un porcentaje de reducción de 72,34% de absorbancia a 350nm y 82,42% a 560nm.

Tabla 24. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.

Código	Absorbancia inicial		Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)	
	350nm	560nm	350nm	560nm	350nm	560nm
E1			0,343	0,142	27,02	44,53
E2			0,301	0,109	35,96	57,42
E3	0,470	0,256	0,177	0,097	62,34	62,11
E4			0,186	0,076	60,43	70,31
E5			0,175	0,075	62,77	70,70
E6		0,171		0,071	63,62	72,27
E7		0,166		0,056	64,68	78,13
E8		0,130		0,045	72,34	82,42
E9		0,138		0,050	70,64	80,47
E10		0,392		0,150	16,60	41,41
E11		0,302		0,124	35,74	51,56
E12		0,179		0,102	61,91	60,16
E13		0,186		0,080	60,43	68,75
E14		0,177		0,077	62,34	69,92
E15		0,175		0,074	62,77	71,09
E16		0,169		0,059	64,04	76,95
E17		0,134		0,046	71,49	82,03
E18		0,142		0,050	69,79	80,47

Entonces al analizar el tratamiento “E8”, se puede concluir que los mejores parámetros son los siguientes: el coagulante sulfato de aluminio al 1,5% con la dosis $225 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 210 rpm y el floculante almidón gelatinizado al 0,3% con la dosis $420 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y la velocidad de floculación en 40 rpm.

Así, estos parámetros se tomaron en cuenta en el tratamiento final 5.

6.3.3.6. Ensayo preliminar 6: Policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%

Absorbancia inicial: 350nm = 0,468.

560nm = 0,271.

Tabla 25. Resultados del ensayo preliminar 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.

Cód.	pHi	Temp. (°C)	Dosis	Vel.	Dosis	Vel.	Índ. de Willcomb	Absorbancia final	
			(mg·L ⁻¹) Coagulación	(rpm)	(mg·L ⁻¹) Floculación	(rpm)		350nm	560nm
F1					30	40	2	0,369	0,208
F2	6,99	16,6			150	40	4	0,101	0,071
F3					300	40	8	0,042	0,015
F4					90	40	4	0,070	0,040
F5	7,04	16,9			120	40	6	0,064	0,039
F6					150	40	8	0,050	0,025
F7					180	40	8	0,043	0,016
F8	7,10	17,3			210	40	10	0,032	0,007
F9			100	210	240	40	10	0,037	0,010
F10					30	75	2	0,322	0,210
F11	7,15	17,9			150	75	4	0,098	0,070
F12					300	75	8	0,040	0,014
F13					90	75	4	0,066	0,040
F14	7,17	18,2			120	75	6	0,060	0,037
F15					150	75	8	0,044	0,022
F16					180	75	8	0,040	0,010
F17	7,22	18,4			210	75	10	0,030	0,006
F18					240	75	10	0,035	0,009

Como se observa en la tabla 25, se mantuvo constante la dosis de coagulante y la velocidad de coagulación, se probaron 9 diferentes dosis de almidón gelatinizado 0,3% cada una con dos diferentes velocidades de floculación: 40 rpm y 75 rpm.

Concluyéndose que la mejor dosis de floculante para 100 mg·L⁻¹ de policloruro de aluminio 20% al ejercerse la velocidad de coagulación de 210 rpm, fue agregar 240 mg·L⁻¹ de almidón gelatinizado al 0,3% con una velocidad de floculación de 75 rpm ya que dio como resultado un porcentaje de reducción de 92,52% de absorbancia a 350nm y 96,68% a 560nm en el tratamiento “F18” (Tabla 26).

Entonces al analizar el tratamiento “F18”, se puede concluir que los mejores parámetros son los siguientes: el coagulante policloruro de aluminio al 20% con la dosis 100 mg·L⁻¹ a 210 rpm y el floculante almidón gelatinizado al 0,3% con la dosis 240 mg·L⁻¹ y la velocidad de floculación en 75 rpm.

Así, estos parámetros se tomaron en cuenta en el tratamiento final 6.

Tabla 26. Porcentajes de remoción del ensayo preliminar 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.

Código	Absorbancia inicial		Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)	
	350nm	560nm	350nm	560nm	350nm	560nm
F1			0,369	0,208	21,15	23,25
F2			0,101	0,071	78,42	73,89
F3			0,042	0,015	91,03	94,46
F4			0,070	0,040	85,04	85,24
F5			0,064	0,039	86,32	85,61
F6			0,050	0,025	89,32	90,77
F7			0,043	0,016	90,81	94,10
F8			0,032	0,007	93,16	97,42
F9			0,037	0,010	92,09	96,31
F10	0,468	0,271	0,322	0,210	31,20	22,51
F11			0,098	0,070	79,06	74,17
F12			0,040	0,014	91,45	94,83
F13			0,066	0,040	85,90	85,24
F14			0,060	0,037	87,18	86,35
F15			0,044	0,022	90,60	91,88
F16			0,040	0,010	91,45	96,31
F17			0,030	0,006	93,59	97,79
F18			0,035	0,009	92,52	96,68

6.3.4. Pruebas finales considerando los parámetros: turbidez y demanda química de oxígeno

En todas las pruebas finales se caracterizó la muestra inicial de efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria, en los parámetros: absorbancia, turbidez, pH, temperatura y DQO, como se observa en las tablas 27, 30, 33, 36, 39 y 42.

Tabla 29. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)		Turbidez final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)	DQO final (mg·L ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
	350nm	560nm	350nm	560nm				
D1M1								
D1M1	0,226	0,088	56,12	70,96	215	63,37	NA	NA
D1M1								
D1M2								
D1M2	0,210	0,078	59,22	74,26	211	64,05	NA	NA
D1M2								
D1M3								
D1M3	0,209	0,080	59,22	73,60	195	66,78	NA	NA
D1M3								
D1M4								
D1M4	0,180	0,067	63,88	77,89	155	73,59	651	63,89
D1M4								

La tabla 28 exhibe que en el ensayo final 1, se mantuvo constante la velocidad de coagulación en 210 rpm, la dosis de floculante en 3 mg·L⁻¹ y la velocidad de floculación en 75 rpm, y se probaron cuatro diferentes dosis de sulfato de aluminio al 1,5%. Así, como exhibe la tabla 29 en el tratamiento “D1M4”, la mejor dosis de coagulante fue al adicionar 255 mg·L⁻¹ de sulfato de aluminio al 1,5%. Resultando un porcentaje de remoción de 73,59% de turbidez y 63,89% de reducción de demanda química de oxígeno.

Por otro lado, al analizar las figuras 5 y 6, donde se muestran las regresiones de la absorbancia con la turbidez para la longitud de onda 350nm y 560 nm, se exhibe que el valor de R² en el caso de la longitud de onda 350nm se encuentra más cercano a la unidad. En otras palabras, existe una asociación lineal casi perfecta entre la absorbancia a 350nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

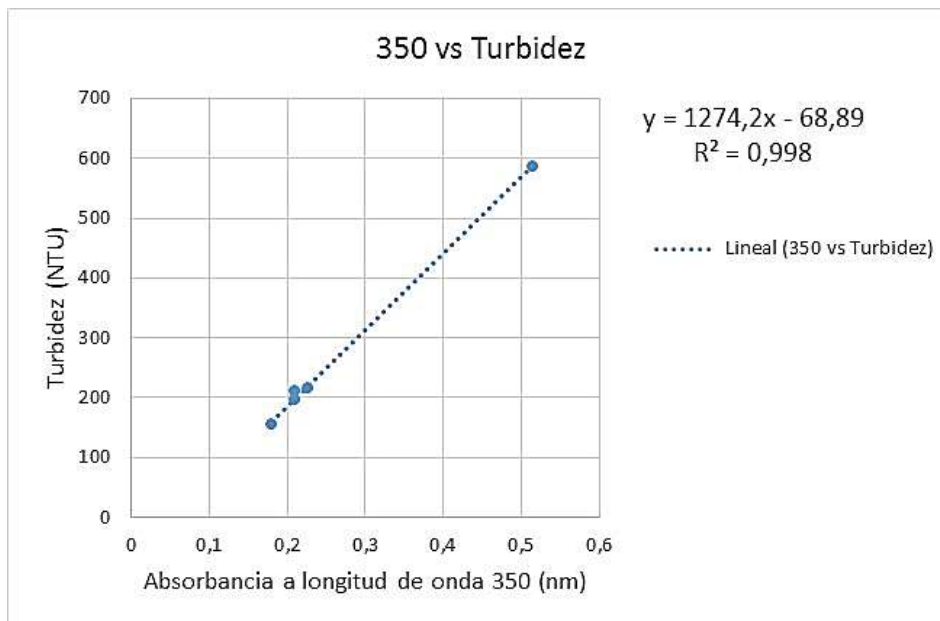


Figura 5. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez en el ensayo final 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

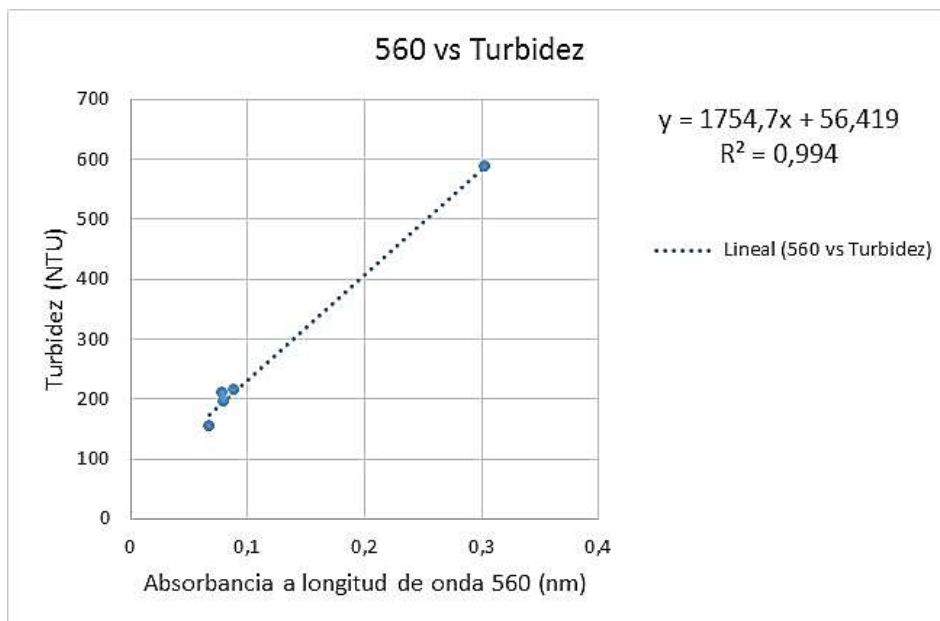


Figura 6. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 1: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%

Tabla 32. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)		Turbidez final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)	DQO final (mg·L ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
	350nm	560nm	350nm	560nm				
D2M1								
D2M1	0,174	0,045	63,37	84,04	181	66,23	NA	NA
D2M1								
D2M2								
D2M2	0,160	0,033	66,32	88,30	173	67,72	NA	NA
D2M2								
D2M3								
D2M3	0,164	0,030	66,74	89,36	153	71,46	NA	NA
D2M3								
D2M4								
D2M4	0,158	0,019	65,47	93,26	127	76,31	586	66,38
D2M4								

La tabla 31 exhibe que en el ensayo final 2, se mantuvo constante la velocidad de coagulación en 210 rpm, la dosis de floculante en 5 mg·L⁻¹ y la velocidad de floculación en 75 rpm y se probaron 4 diferentes dosis de sulfato de aluminio al 1,5%. Así, como muestra la tabla 32 en el tratamiento “D2M4” la mejor dosis de coagulante fue adicionando 255 mg·L⁻¹ de sulfato de aluminio al 1,5%. Ya que, dio como resultado un porcentaje de remoción de 76,31% de turbidez y 66,38% de demanda química de oxígeno.

Entonces, al comparar la tabla 29 y la tabla 32, se puede concluir que la mejor dosis de sulfato de aluminio al 1,5% es 255 mg·L⁻¹ al adicionarle 5 mg·L⁻¹, en vez de 3 mg·L⁻¹ de poliacrilamida aniónica al 0,1%, así lo demuestra el tratamiento “D2M4”.

Ahora bien, al analizar las figuras 7 y 8, donde se muestran las regresiones de la absorbancia con la turbidez para la longitud de onda 350nm y 560 nm, se exhibe que el valor de R² en el caso de la longitud de onda 350nm se encuentra más cercano a la unidad. En otras palabras, existe una asociación lineal casi perfecta entre la absorbancia a 350nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

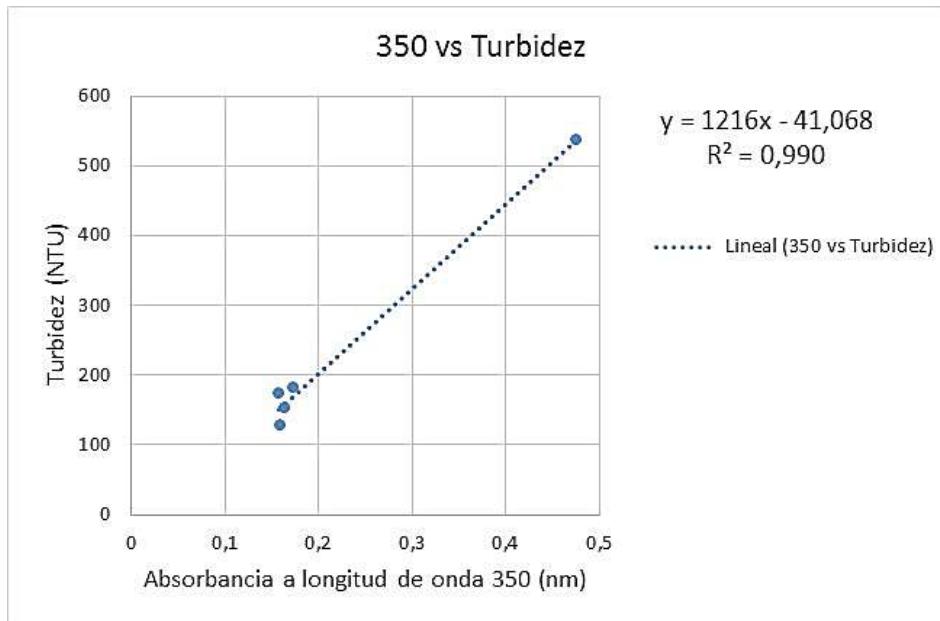


Figura 7. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

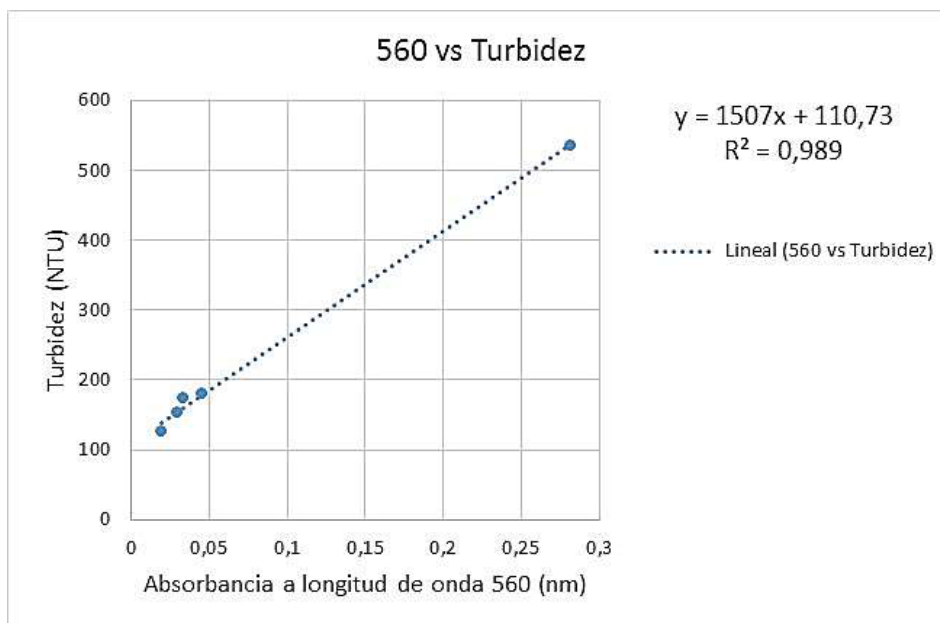


Figura 8. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 2: sulfato de aluminio 1,5% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Tabla 35. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)		Turbidez final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)	DQO final (mg·L ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
	350nm	560nm	350nm	560nm				
D3M1								
D3M1	0,064	0,035	86,89	88,45	60,6	89,41	NA	NA
D3M1								
D3M2								
D3M2	0,051	0,012	89,55	96,04	21,7	96,21	NA	NA
D3M2								
D3M3								
D3M3	0,040	0,007	91,80	97,69	11,4	98,01	314	82,11
D3M3								
D3M4								
D3M4	0,042	0,010	91,39	96,70	18,1	96,84	NA	NA
D3M4								

En la tabla 34 se observa que en el ensayo final 3, se mantuvo constante la velocidad de coagulación en 210 rpm, la dosis de floculante en 3 mg·L⁻¹ y la velocidad de floculación en 75 rpm y se probaron cuatro diferentes dosis de policloruro de aluminio.

Así, como se demuestra en la tabla 35 en el tratamiento “D3M3”, la mejor dosis de coagulante fue adicionando 120 mg·L⁻¹ de policloruro de aluminio al 20%. Ya que dio como resultado un porcentaje de remoción de 98,01% de turbidez y 82,11% de demanda química de oxígeno.

Ahora bien, al analizar las figuras 9 y 10, donde se muestran las regresiones de la absorbancia con la turbidez para la longitud de onda 350nm y 560 nm, se exhibe que el valor de R² en el caso de la longitud de onda 560nm se encuentra más cercano a la unidad. En otras palabras, existe una asociación lineal casi perfecta entre la absorbancia a 560nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

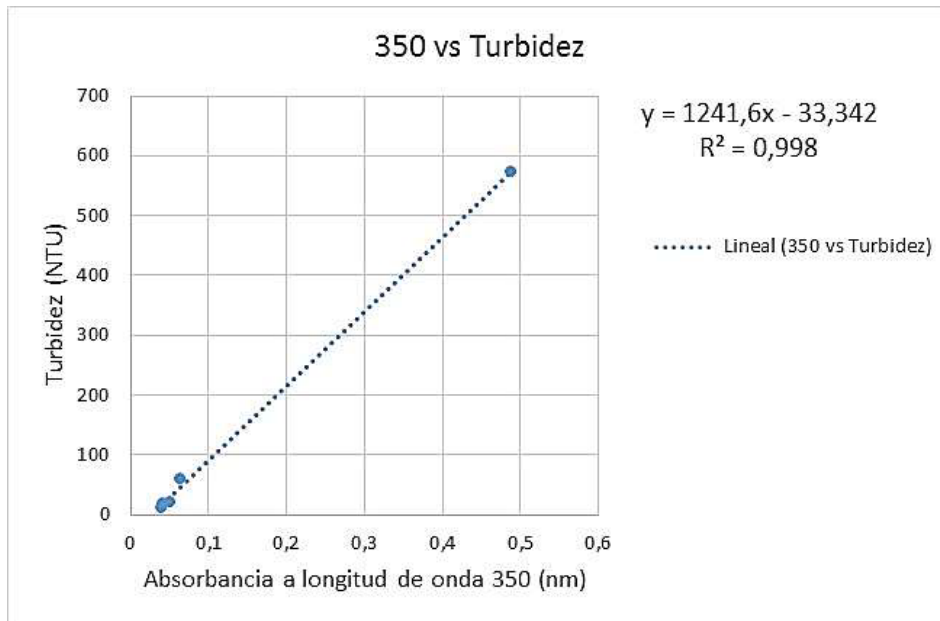


Figura 9. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

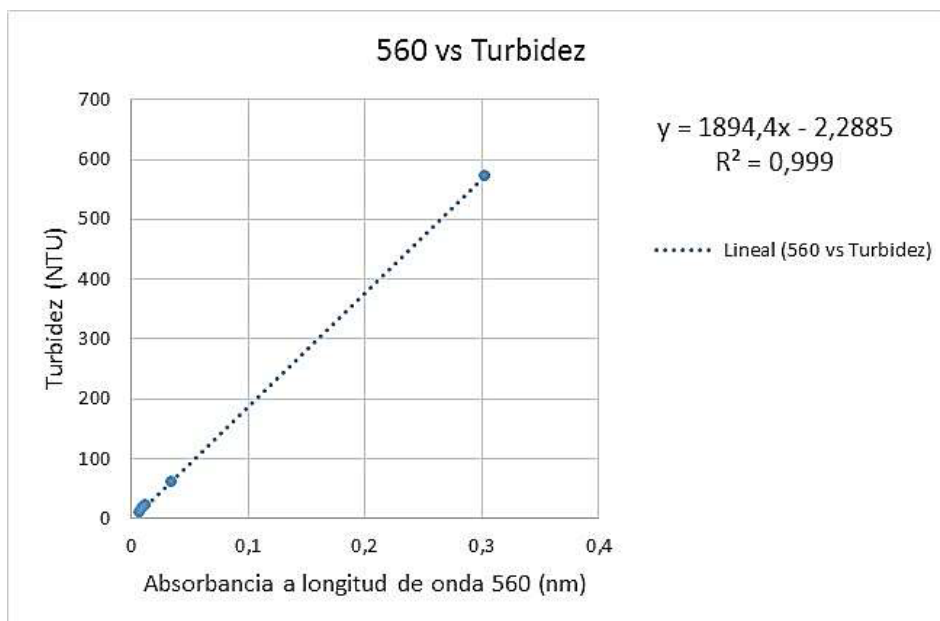


Figura 10. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 3: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Tabla 38. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

Cód.	Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)		Turbidez final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)	DQO final (mg·L ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
	350nm	560nm	350nm	560nm				
D4M1								
D4M1	0,060	0,029	88,05	90,17	58,9	89,77	NA	NA
D4M1								
D4M2								
D4M2	0,052	0,010	89,64	96,61	20,2	96,49	NA	NA
D4M2								
D4M3								
D4M3	0,037	0,005	92,63	96,61	10,3	98,21	304	83,05
D4M3								
D4M4								
D4M4	0,040	0,009	92,03	96,95	17,7	96,93	NA	NA
D4M4								

La tabla 37 exhibe que, se mantuvo constante la velocidad de coagulación en 210 rpm, la dosis de floculante en 5 mg·L⁻¹ y la velocidad de floculación en 75 rpm y se probaron cuatro diferentes dosis de policloruro de aluminio 20%.

Así, en la tabla 38 se observa en el tratamiento “D4M3” que la mejor dosis de coagulante fue adicionando 100 mg·L⁻¹ de policloruro de aluminio al 20%. Ya que dio como resultado un porcentaje de remoción de 98,21% de turbidez y 83,05% de demanda química de oxígeno.

Entonces, al comparar la tabla 35 y la tabla 38, se puede concluir que la mejor dosis de policloruro de aluminio al 20% es 100 mg·L⁻¹ al adicionarle 5 mg·L⁻¹, en vez de 3 mg·L⁻¹ de poliacrilamida aniónica al 0,1%, así lo demuestra el tratamiento “D4M3”.

Al analizar las figuras 11 y 12, se muestran las regresiones de la absorbancia con la turbidez para la longitud de onda 350nm y 560 nm, se exhibe que el valor de R² en el caso de la longitud de onda 560nm se encuentra más cercano a la unidad. En otras palabras, existe una asociación lineal casi perfecta entre la absorbancia a 560nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

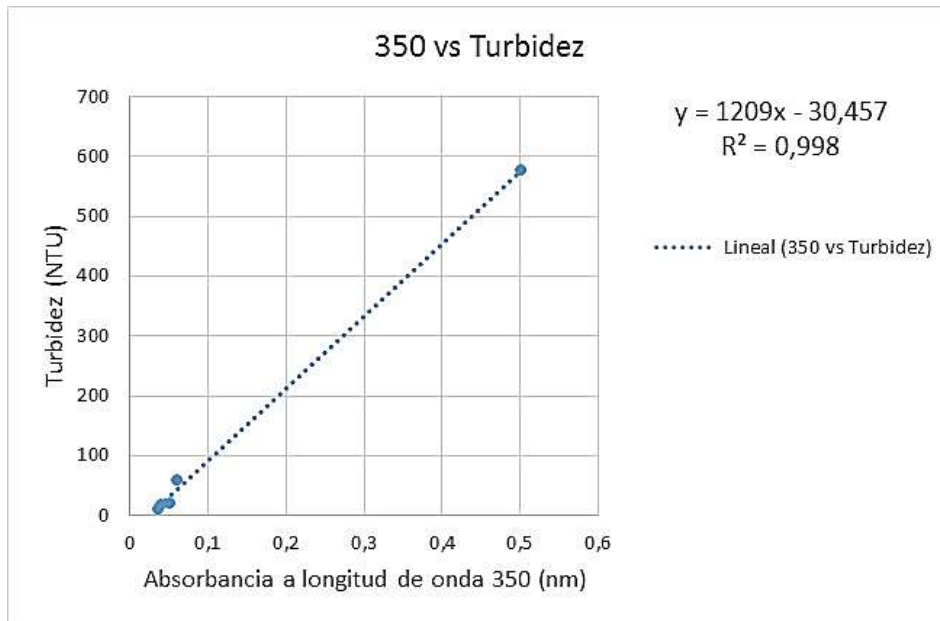


Figura 11. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

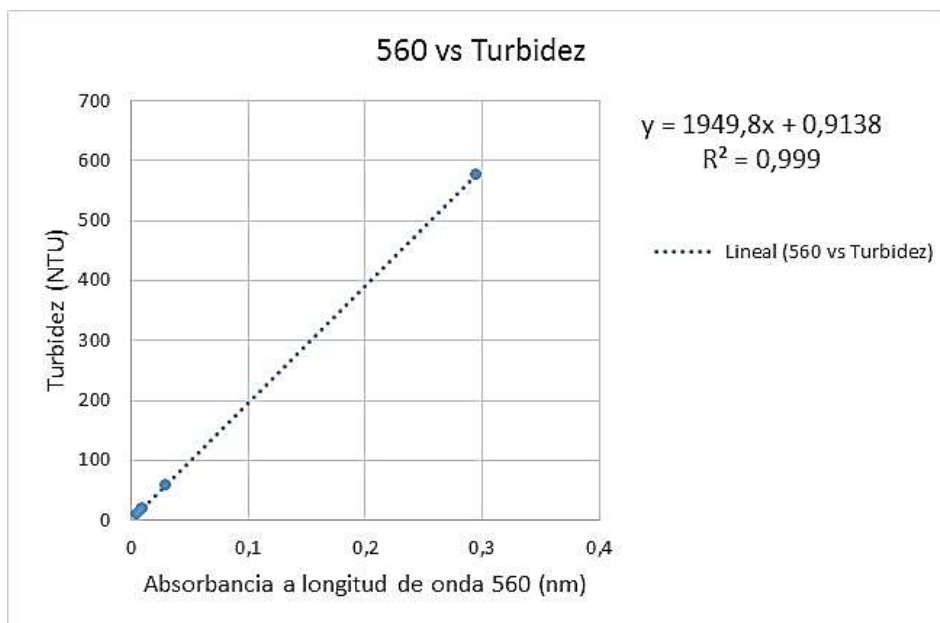


Figura 12. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 4: policloruro de aluminio 20% y poliacrilamida aniónica 0,1%.

6.3.4.5. Ensayo final 5: Sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%

Tabla 39. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 5.

Parámetro	Valor
Absorbancia inicial:	350nm = 0,521 560nm = 0,311
Turbidez inicial:	590 NTU
pH inicial:	6,67
Temperatura inicial:	16,1°C
DQO inicial:	1814 mg·L ⁻¹

Tabla 40. Resultados del ensayo final 5 para sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.

Cód.	Coagulación		Floculación		Absorbancia final		Turbidez final (NTU)	DQO final (mg·L⁻¹)	
	Dosis (mg·L⁻¹)	Vel. (rpm)	Dosis (mg·L⁻¹)	Vel. (rpm)	350nm	560nm			
D5M1	225		450	40	0,173	0,070	182	NA	
D5M1									
D5M2			210	420	75	0,170	0,071	190	NA
D5M2									
D5M3	255		450	40	0,164	0,019	139	624	
D5M3									
D5M4			420	75					
D5M4							0,165	0,019	150
D5M4									

Tabla 41. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.

Cód.	Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)		Turbidez final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)	DQO final (mg·L ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
	350nm	560nm	350nm	560nm				
D5M1								
D5M1	0,173	0,070	66,79	77,49	182	69,15	NA	NA
D5M1								
D5M2								
D5M2	0,170	0,071	67,37	77,17	190	67,80	NA	NA
D5M2								
D5M3								
D5M3	0,164	0,019	68,52	93,89	139	76,44	624	65,60
D5M3								
D5M4								
D5M4	0,165	0,019	68,33	93,89	150	74,58	NA	NA
D5M4								

En la tabla 40 se observa que en el ensayo final 5, se mantuvo constante la velocidad de coagulación en 210 rpm, se probaron dos diferentes dosis de sulfato de aluminio al 1,5%: 225 mg·L⁻¹ y 255 mg·L⁻¹, cada una con dos dosis de almidón gelatinizado al 0,3%: 420 mg·L⁻¹ y 450 mg·L⁻¹ actuando a dos velocidades de floculación: 40 rpm y 75 rpm.

Así en la tabla 41 en el tratamiento “D5M3” se exhibe que la mejor dosis de coagulante al ejercerse la velocidad de 210 rpm, agregándose 450 mg·L⁻¹ de almidón gelatinizado al 0,3% con una velocidad de floculación de 40 rpm, fue adicionando 255 mg·L⁻¹ de sulfato de aluminio al 1,5%. Ya que dio como resultado un porcentaje de remoción de 76,44% de turbidez y 65,60% de demanda química de oxígeno.

Ahora bien, al analizar las figuras 7 y 8, donde se muestran las regresiones de la absorbancia con la turbidez para la longitud de onda 350nm y 560 nm, se exhibe que el valor de R² en el caso de la longitud de onda 350nm se encuentra más cercano a la unidad. En otras palabras, existe una asociación lineal casi perfecta entre la absorbancia a 350nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

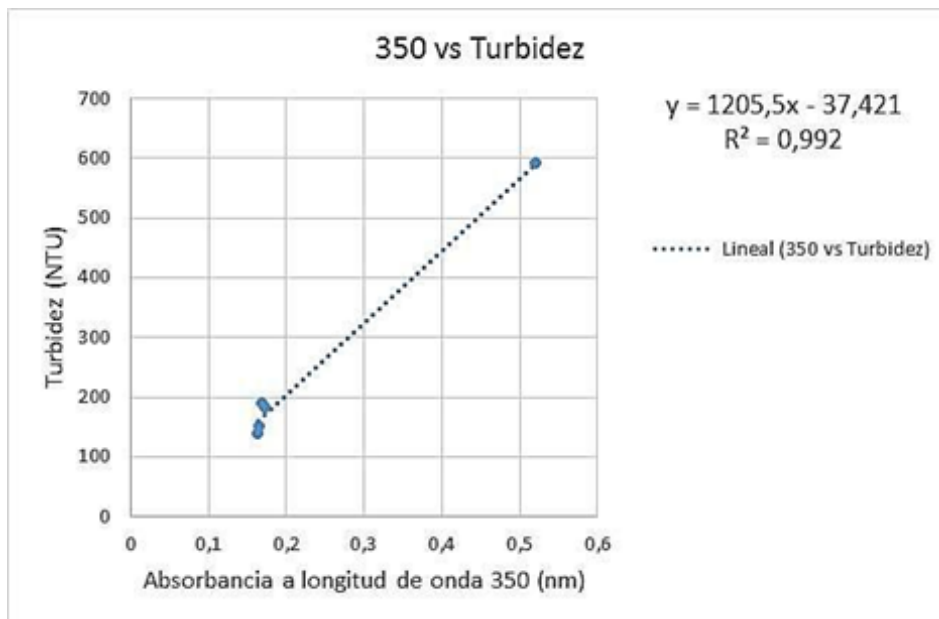


Figura 13. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.

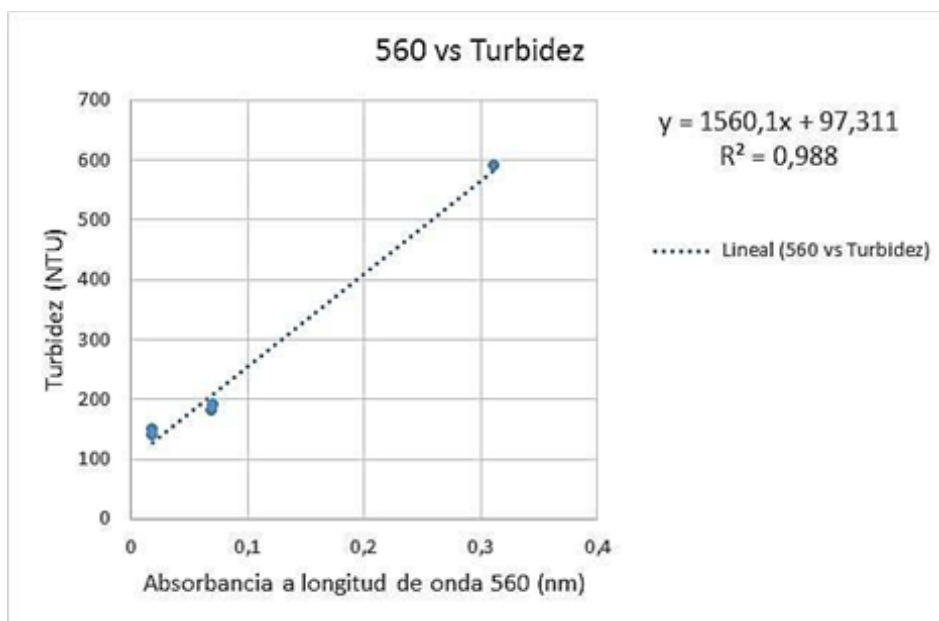


Figura 14. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 5: sulfato de aluminio 1,5% y almidón gelatinizado 0,3%.

6.3.4.6. Ensayo final 6: Policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%

Tabla 42. Características de la muestra inicial del efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria para el ensayo final 6.

Parámetro	Valor
Absorbancia inicial:	350nm = 0,481 560nm = 0,269
Turbidez inicial:	553 NTU
pH inicial:	6,67
Temperatura inicial:	16,1°C
DQO inicial:	1766 mg·L ⁻¹

Tabla 43. Resultados del ensayo final 6 para policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.

Cód.	Dosis	Vel.	Dosis	Vel.	Absorbancia final		Turbidez final	DQO final
	(mg·L ⁻¹)	(rpm)	(mg·L ⁻¹)	(rpm)	350nm	560nm	(NTU)	(mg·L ⁻¹)
	Coagulación		Floculación					
D6M1			240	40				
D6M1			240	40	0,191	0,072	173,9	NA
D6M1	80		240	40				
D6M2			270	75				
D6M2			270	75	0,194	0,079	144,1	NA
D6M2		210	270	75				
D6M3			240	40				
D6M3			240	40	0,184	0,041	173,9	NA
D6M3	100		240	40				
D6M4			270	75				
D6M4			270	75	0,171	0,023	144,1	606
D6M4			270	75				

Tabla 44. Porcentajes de remoción y reducción del ensayo final 5: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.

Cód.	Absorbancia final		Porcentaje de reducción (%)		Turbidez final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)	DQO final (mg·L ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
	350nm	560nm	350nm	560nm				
D6M1								
D6M1	0,191	0,072	60,29	73,23	173,9	68,55	NA	NA
D6M1								
D6M2								
D6M2	0,194	0,079	59,67	70,63	144,1	73,94	NA	NA
D6M2								
D6M3								
D6M3	0,184	0,041	61,75	84,76	173,9	68,55	NA	NA
D6M3								
D6M4								
D6M4	0,171	0,023	64,45	91,45	144,1	73,94	606	65,69
D6M4								

En la tabla 43 se observa que en el ensayo final 6, se mantuvo constante la velocidad de coagulación, se probaron dos diferentes dosis de policloruro de aluminio 20%: 80 mg·L⁻¹ y 100 mg·L⁻¹ cada una con dos dosis de almidón gelatinizado al 0,3%: 240 mg·L⁻¹ y 270 mg·L⁻¹ actuando a 2 velocidades de floculación: 40 rpm y 75 rpm

Así, la tabla 44 demuestra en el tratamiento “D6M4” que la mejor dosis de coagulante al ejercerse la velocidad de coagulación de 210 rpm, agregándose 270 mg·L⁻¹ de almidón gelatinizado al 0,3% con una velocidad de floculación de 75 rpm, fue adicionando 100 mg·L⁻¹ de policloruro de aluminio al 20%. Ya que dio como resultado un porcentaje de remoción de 73,94% de turbidez y 65,69% de demanda química de oxígeno.

Ahora bien, al analizar las figuras 15 y 16, donde se muestran las regresiones de la absorbancia con la turbidez para la longitud de onda 350nm y 560 nm, se exhibe que el valor de R² en el caso de la longitud de onda 350nm se encuentra más cercano a la unidad. En otras palabras, existe una asociación lineal casi perfecta entre la absorbancia a 350nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

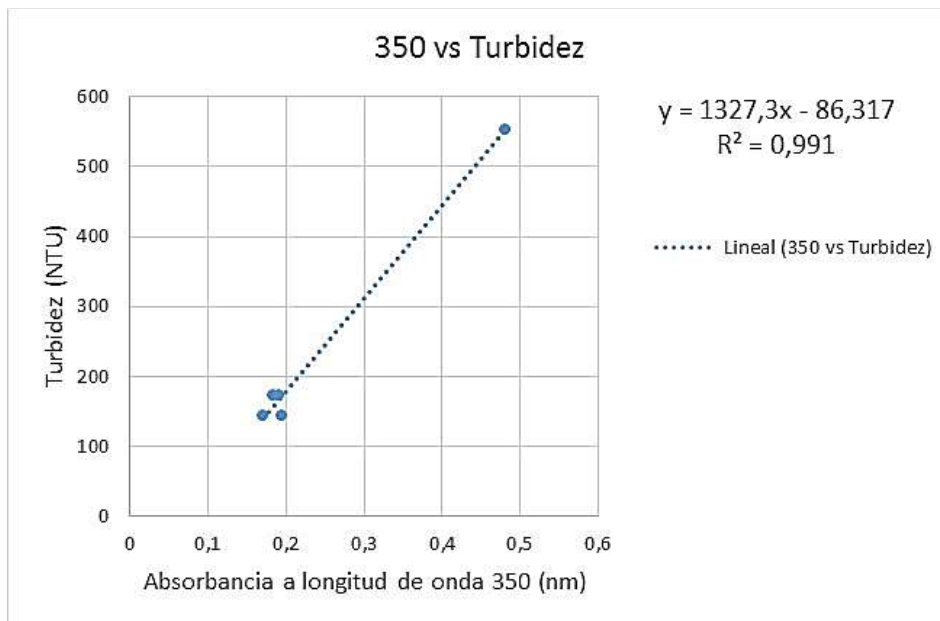


Figura 15. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez, en el ensayo final 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.

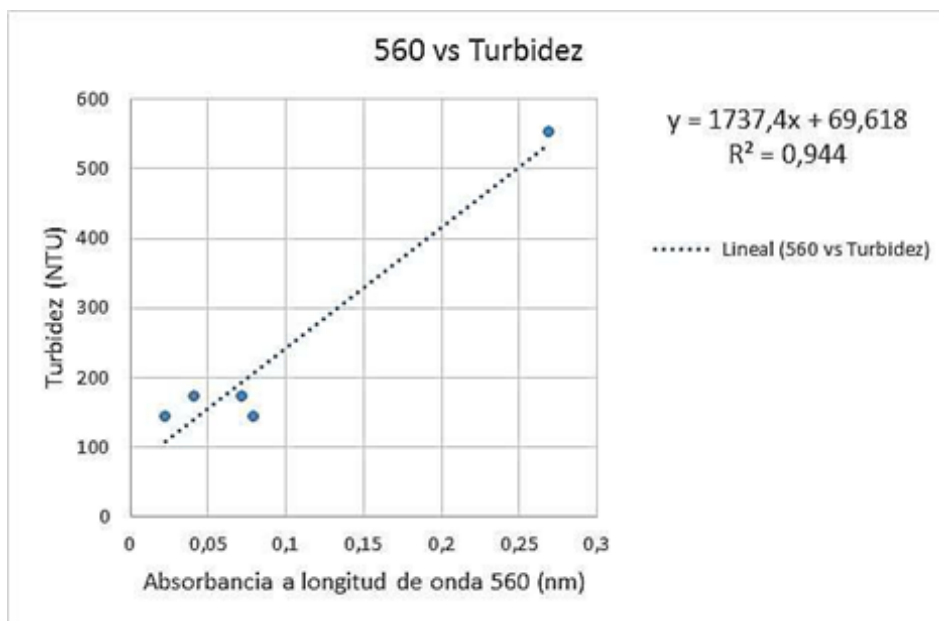


Figura 16. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez en el ensayo final 6: policloruro de aluminio 20% y almidón gelatinizado 0,3%.

6.4. Comparación de la absorbancia con la turbidez de todos los ensayos finales

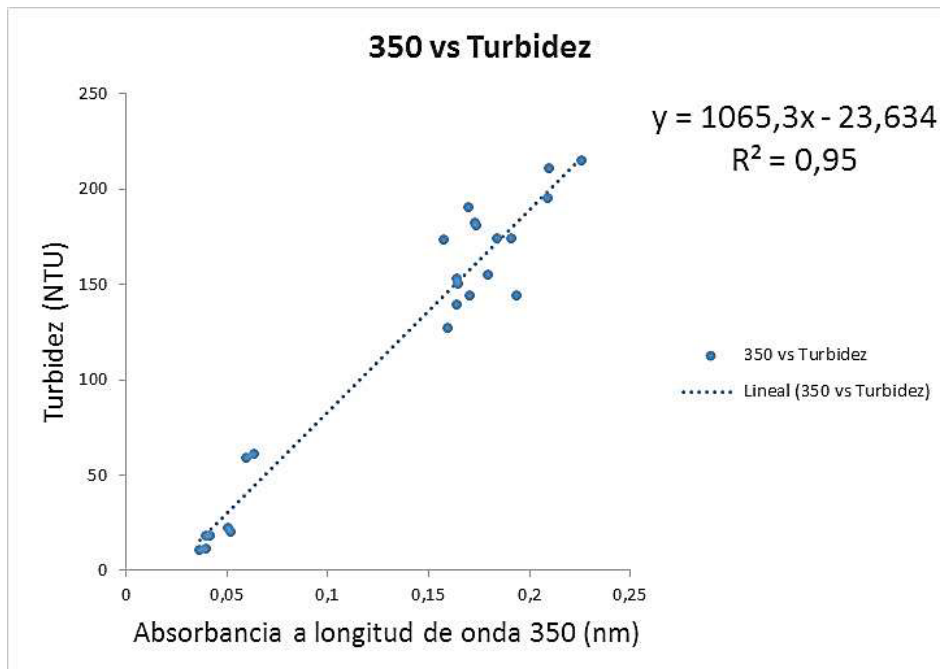


Figura 17. Comparación de la absorbancia a 350nm con la turbidez de todos los ensayos finales.

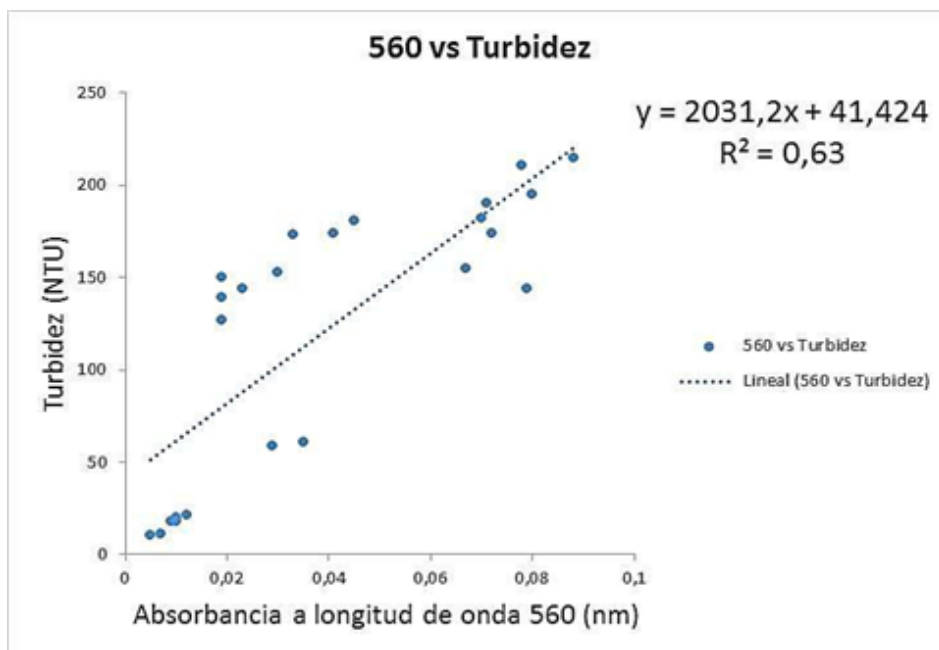


Figura 18. Comparación de la absorbancia a 560nm con la turbidez de

Debido a los diferentes resultados relacionando la absorbancia y la turbidez, se todos los ensayos finales.

Debido a los diferentes resultados relacionando la absorbancia y la turbidez, se realizó una regresión de todos los datos finales de absorbancia con la longitud de onda 350nm (figura 17) y otra con todos los datos finales de absorbancia con la longitud de onda 560nm (figura 18). Esta vez sin considerar el valor inicial de la muestra de efluente, sólo con los resultados de cada tratamiento final.

Se midió la absorbancia a 350nm y se realizó una regresión con los datos de turbidez (NTU) correspondientes. Se tomó como coeficiente de determinación a R cuadrado, el cual tuvo un valor de 0,94, indicando que existe una regresión lineal entre la absorbancia a 350nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

Se midió la absorbancia a 560nm y se realizó una regresión con los datos de turbidez (NTU) correspondientes. Donde R cuadrado tuvo un valor de 0,62, indicando que existe una regresión lineal débil entre la absorbancia a 560nm y la turbidez (NTU) del efluente industrial.

Por ello, se consideró a la longitud de onda 350nm como la más adecuada para determinar la carga orgánica en el efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria, según la turbidez.

6.5. Comparación de la turbidez con la DQO de todos los ensayos finales

Para poder lograr determinar la carga orgánica en el efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria según la turbidez, se realizó una regresión entre los datos finales de la turbidez (NTU) y sus correspondientes datos de DQO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Se tomó como coeficiente de determinación a R^2 , el cual tuvo un valor de 0,99, indicando que existe una asociación lineal casi perfecta entre la turbidez y la DQO.

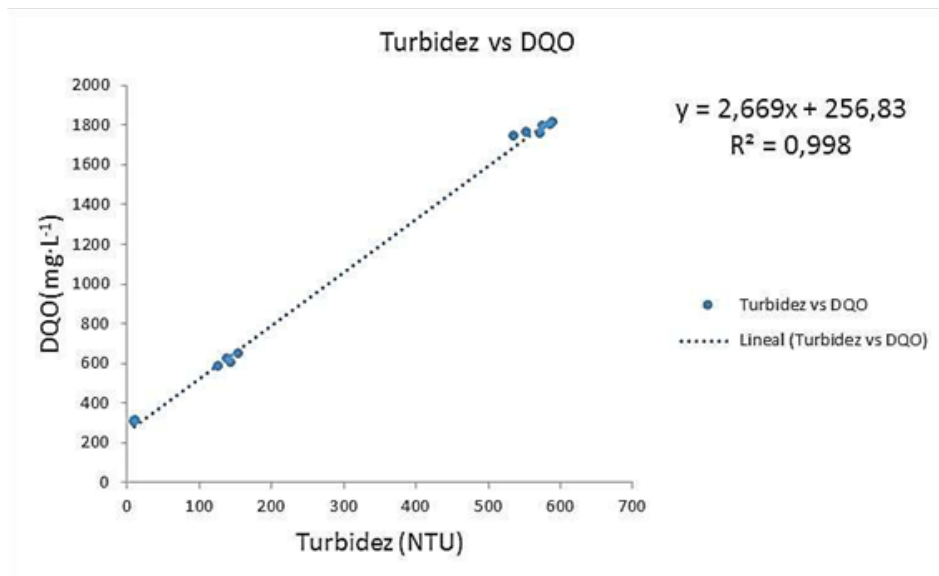


Figura 19. Comparación de la turbidez con la DQO de todos los ensayos finales.

VII. DISCUSIÓN

Los parámetros óptimos en la prueba de jarras siempre se dieron con un pH cercano al neutro. Por su lado, los resultados de Cabrera *et al.* (2009), al tratar agua residual procedente de la etapa de degradación biológica de la planta de tratamiento de residuales de la Empresa Textil “Desembarco del Granma” de Villa Clara en Cuba, determinaron que las condiciones óptimas de operación correspondieron al uso de sulfato de aluminio a valor de pH= 7 y dosis de 40 mg·L⁻¹. Para llegar a esa conclusión variaron el pH inicial de 4 a 9 unidades donde decidieron que no fue conveniente realizar el proceso de tratamiento químico-físico de coagulación-floculación a pH bajos, sino a pH cercanos a la neutralidad, además que este proceso fue favorecido con el incremento de la dosis de sulfato de aluminio, disminuyendo la turbidez con el correspondiente incremento del porcentaje de remoción. Acotaron también que el pH final disminuye ligeramente cuando se incrementa la dosis de coagulante respecto a cada valor de pH inicial. Considerando que ellas no utilizaron floculante, únicamente coagulante en sus experimentos, sus conclusiones apoyan nuestros resultados ya que el pH de la muestra inicial al utilizar sulfato de aluminio siempre se encontró cercano a la neutralidad.

Al realizar la prueba de jarras usando como coagulante policloruro de aluminio y como floculante poliacrilamida aniónica, los parámetros óptimos fueron: policloruro de aluminio a dosis de 100mg·L⁻¹ y seguidamente sumando poliacrilamida aniónica a dosis de 5mg·L⁻¹, dejando la muestra tratada con un porcentaje de remoción de 98,21% de turbidez y un porcentaje de reducción de 83,05% de DQO. Valores considerablemente mejores que al utilizar sulfato de aluminio. Más aún, la dosis ideal de sulfato de aluminio fue 255mg·L⁻¹, quedando en evidencia que al utilizar policloruro de aluminio se necesita menos de la mitad de esa dosis. Cogollo (2011) estudió el proceso de clarificación en sistemas de tratamiento de aguas industriales usando un coagulante inorgánico polimerizado (hidroxicloruro de aluminio o policloruro de aluminio), y mencionó que la utilización de los coagulantes más comunes como, por ejemplo, el sulfato de aluminio, se ha venido cuestionando en los últimos tiempos

debido, entre otras causas, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas. Una de las opciones consideradas para alcanzar altos niveles de calidad del agua tratada y desempeño del proceso es el uso de los coagulantes alternativos que han surgido en las últimas décadas. Éstos, son una nueva generación de coagulantes inorgánicos prepolimerizados incluyendo policloruros de aluminio (PAC's), los cuales han mostrado un mejor desempeño que los coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio, hoy en día, ampliamente aplicado para tratamiento de aguas residuales. También acotó que estos coagulantes alternativos son usados exitosamente en procesos de clarificación de aguas debido a su desempeño superior en la remoción de materia orgánica y partículas en suspensión y su capacidad de garantizar un proceso con mínima variación y menor costo que los coagulantes convencionales. Así, en el caso del tratamiento con sulfato de aluminio el porcentaje de reducción de DQO fue 66,38% a diferencia del tratamiento con policloruro de aluminio que tuvo un porcentaje de reducción de DQO de 83,05%, corroborando así una mejor eficiencia de este último para tratar aguas residuales industriales con alta carga orgánica.

Por otro lado, en estas pruebas se utilizó el floculante: poliacrilamida aniónica "PAM", tal como lo hicieron Aguilar *et al.* (2005) con agua residual industrial proveniente de mataderos. Ellos encontraron que la dosis ideal de la poliacrilamida aniónica al reaccionar con sulfato de aluminio fue $75\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, mientras que al reaccionar con policloruro de aluminio fue $20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, evidenciándose que se necesita menos de la mitad de floculante cuando se utiliza el policloruro de aluminio. Al contrario, al tratar agua residual industrial proveniente de una industria alimentaria de salsa de soya, la cantidad de poliacrilamida aniónica utilizada con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio varió entre 3 y $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, mostrándose mejores resultados para ambos casos al utilizar $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de dosis de este floculante. Adicionalmente, ellos concluyen que el uso de poliacrilamida aniónica incrementa la eficiencia de los coagulantes, incrementando la rapidez de sedimentación, reduciendo la cantidad de coagulante requerido para el tratamiento y minimizando el costo el proceso de la coagulación-floculación.

En este trabajo de investigación se utilizó almidón de *S. tuberosum* como floculante al tratar un efluente de una industria alimentaria ubicada en el distrito de Ate en la ciudad de Lima. Por su lado, Alatrística *et al.*, (2015) utilizaron almidón de *T. aestivum* L. como floculante para tratar un efluente de una industria textil ubicada en la ciudad de Arequipa. Ambos efluentes industriales presentan color residual. En primera instancia debido al color caramelo, propio de la salsa de soya “siyau”, en segunda instancia principalmente por azocolorantes recalcitrantes. En el caso del almidón de *S. tuberosum* al reaccionar con una dosis de $255 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de sulfato de aluminio se logró una remoción de color (absorbancia a 560nm) de 93,89%. Por su lado, con una dosis de $75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de sulfato de aluminio con el almidón de *T. aestivum* no se lograron valores favorables en la remoción de color (absorbancia a 565nm). Esto puede ser causado ya que, a diferencia del almidón gelatinizado de *S. tuberosum* que se preparó únicamente con agua destilada en ebullición, el almidón de *T. aestivum* pasó por un proceso de hidrolización por Na(OH), que llevó a que la solución madre de almidón llegue a pH alcalino, además todos los ensayos de la prueba de jarras en el trabajo de Alatrística *et al.* (2015) se realizaron a pH 10. Así, teniendo en cuenta que el rango de pH en que mejor actúa el sulfato de aluminio es 6,5 - 8 (Andía, 2000), se pueden explicar los valores no favorables de sus ensayos con respecto al color con tan baja dosis de sulfato de aluminio, similar fue el caso para el DQO que no mostró un incremento mayor al 25% para los porcentajes de remoción de DQO ni DBO₅. Reafirmando así la importancia del pH en el ensayo de la prueba de jarras.

Por el contrario, en México Solís *et al.*, (2012), se trató con aguas superficiales con mezclas de sulfato de aluminio y almidón de *Manihol esculenta* “yuca” para así disminuir la cantidad de sulfato de aluminio usado en el tratamiento convencional. En este caso mediante el ensayo de la prueba de jarras se determinó que la dosis óptima del sulfato de aluminio fue $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, en la clarificación de una muestra de agua de río (color de 85 CU, turbiedad de 70 NTU y pH de 6.8). Esta dosis, les sirvió como base para la preparación de seis mezclas con distintas composiciones de almidón y sulfato de aluminio. Donde los resultados indicaron que la mayor reducción de color fue de 94% y la remoción de turbidez fue de 98,7%, los cuales se obtuvieron con $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de yuca más $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de sulfato de aluminio. Finalmente, en su trabajo, el pH no varió

significativamente para todos los tratamientos. Por su parte, en este trabajo de investigación con almidón de *S. tuberosum* no se realizaron mezclas debido a que al hacer uso del sulfato de aluminio y del policloruro de aluminio solos sin un floculante no se evidenciaron mejoras visuales ni formación de flocs. Por otro lado, en este trabajo no se ha medido el aluminio residual después de los tratamientos aquí descritos, teniendo en cuenta que el VMA para aluminio en efluentes industriales es $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, queda como un vacío a ser llenado antes de querer implementarse cualquiera de los tratamientos primarios expuestos en esta investigación para asegurar que se cumplan todos los VMA necesarios.

Finalmente, los resultados expuestos demuestran que el almidón gelatinizado de *S. tuberosum* puede reemplazar a la poliacrilamida aniónica como floculante, a nivel laboratorio realizando pruebas de jarras, con agua residual industrial proveniente de la industria alimentaria. El almidón de papa fue escogido por ser un insumo utilizado en la empresa patrocinadora en la preparación de sus productos, pero también se ha documentado que se puede utilizar el almidón de plátano (Trujillo *et al.* 2014) y almidón de yuca (Solís *et al.* 2012) para remover turbidez y reducir carga orgánica de aguas residuales. Al utilizar una mezcla de sulfato de aluminio/almidón de yuca (1:0.07), empleando así mucho menor cantidad de almidón que en los estudios realizados por Laines (2008) en los que se utilizó una mezcla de sulfato de aluminio/almidón de plátano en proporción (1:1), lo cual no sólo implica un ahorro económico asociado a la producción y dosificación de almidón en una unidad de coagulación-floculación de escala industrial, sino que también permite disminuir el efecto del uso del agente floculante en el incremento del carbono orgánico total (COT) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el agua tratada, cuyos parámetros son criterios establecidos de la calidad del agua en las plantas potabilizadoras. Sin embargo, debe tenerse en mente que en los estudios de Laines (2008) el agua tratada provino de un relleno sanitario mientras que en el estudio de Solís *et al.* (2012) el agua tratada es agua superficial de un río por lo cual se infiere que las mezclas podrían actuar de manera diferente.

Así, la contribución de este trabajo es que no realizaron mezclas de almidón de papa con ningún coagulante si no que se probó como un floculante independiente al reaccionar con sulfato de aluminio o policloruro de aluminio como coagulantes, resaltando que el

agua residual industrial tratada no excedió los 2500 mg.L⁻¹ de DQO en ninguna muestra puntual recolectada.

VIII. CONCLUSIONES

- Los parámetros óptimos en el ensayo de la prueba de jarras utilizando como coagulante sulfato de aluminio y como floculante poliacrilamida aniónica, fueron los siguientes: En la coagulación, sulfato de aluminio al 1,5% con la dosis $255 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 210 rpm por 1 min y en la floculación, poliacrilamida aniónica al 0,1%, con una dosis de $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 75 rpm por 20 min y finalmente con un tiempo de sedimentación de 15 min, alcanzándose un porcentaje de reducción de DQO de 66,38%, es decir, la muestra inicial de efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria tuvo $1743 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, mientras que la muestra después del tratamiento mencionado tuvo $586 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, cumpliendo así su VMA para su descarga en el alcantarillado.
- Los parámetros óptimos en el ensayo de la prueba de jarras utilizando como coagulante policloruro de aluminio y como floculante poliacrilamida aniónica, se describen a continuación: En la coagulación, policloruro de aluminio al 20% con la dosis $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 210 rpm por 1 min y en la floculación, poliacrilamida aniónica al 0,1%, con una dosis de $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 75 rpm por 20 min y finalmente con un tiempo de sedimentación de 15 min, alcanzándose un porcentaje de reducción de DQO de 83,05%, es decir, la muestra inicial de efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria tuvo $1794 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, mientras que la muestra después del tratamiento mencionado tuvo $304 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, cumpliendo así su VMA para su descarga en el alcantarillado.
- Los parámetros óptimos en el ensayo de la prueba de jarras utilizando como coagulante sulfato de aluminio y como floculante almidón gelatinizado, fueron los siguientes: En la coagulación, sulfato de aluminio al 1,5% con la dosis $255 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 210 rpm por 1 min y en la floculación, almidón

gelatinizado al 0,3%, con una dosis de $450 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 40 rpm por 20 min y finalmente con un tiempo de sedimentación de 15 min, alcanzándose un porcentaje de reducción de DQO de 65,60%, es decir, la muestra inicial de efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria tuvo $1814 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, mientras que la muestra después del tratamiento mencionado tuvo $624 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, cumpliendo así su VMA para su descarga en el alcantarillado.

- Los parámetros óptimos en el ensayo de la prueba de jarras utilizando como coagulante policloruro de aluminio y como floculante poliacrilamida aniónica, se detallan a continuación: En la coagulación, policloruro de aluminio al 20% con la dosis $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 210 rpm por 1 min y en la floculación, almidón gelatinizado al 0,3%, con una dosis de $270 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidad de 75 rpm por 20 min y finalmente con un tiempo de sedimentación de 15 min, alcanzándose un porcentaje de reducción de DQO de 65,69%, es decir, la muestra inicial de efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria tuvo $1766 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, mientras que la muestra después del tratamiento mencionado tuvo $606 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO, cumpliendo así su VMA para su descarga en el alcantarillado.
- Después de realizar los barridos espectrales de 10 muestras iniciales de efluente industrial, no doméstico de la industria alimentaria se determinó que la longitud de onda 350nm era la más adecuada para calcular la absorbancia. Es así como, al relacionar la absorbancia a 350nm con la turbidez (NTU), se obtuvo una relación lineal con un coeficiente de determinación “ R^2 ” de 0,94, lo que indicó que hay una relación lineal muy alta entre la variable absorbancia y la variable turbidez, y que en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de la empresa patrocinadora se puede estimar el valor de la turbidez a partir de la absorbancia a 350nm con la siguiente ecuación: $\text{Turbidez} = [(1060 \cdot \text{Absorbancia}_{350\text{nm}}) - 23,216]$. Ya que en el laboratorio no se contaba con nefelómetro, pero sí con espectrofotómetro.

- Seguidamente, al relacionar la turbidez (NTU) con la DQO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), también se obtuvo una relación lineal, con un coeficiente de determinación “ R^2 ” de 0,99, lo que indicó que hay una regresión lineal muy alta entre la variable turbidez y la variable DQO, y una vez se haya estimado la turbidez con la fórmula anteriormente mencionada, también se puede estimar la carga orgánica presente en el efluente industrial no doméstico de la industria alimentaria con la fórmula: $\text{DQO} = [(2,7753*\text{Turbidez}) + 202,41]$. Así se podría monitorear la calidad de efluente que se estaba descargando al alcantarillado y verificar si cumplía el VMA en el aspecto de la carga orgánica.
- Se demostró que se puede reemplazar la poliacrilamida aniónica por almidón de *S. tuberosum* al aplicar un tratamiento primario a un efluente industrial no doméstico de una empresa alimentaria ubicada en el distrito de Ate en la ciudad de Lima, para cumplir los VMA del Decreto Supremo N°021-009-Vivienda, en el aspecto de la carga orgánica presente.

IX. RECOMENDACIONES

- En este trabajo por falta de antecedentes en este tipo de agua residual se siguieron las indicaciones de la norma “ASTDM D2035-13” al pie de la letra es decir: el tiempo de coagulación fue 1 min, el tiempo de floculación fue 20 min y el tiempo de sedimentación fue 15 min, pero cabe resaltar que visualmente los flocs para el caso de los ensayos finales 1, 2, 3 y 4 sedimentaron rápidamente, tanto así que se recomienda hacer pruebas posteriores con menos tiempo de sedimentación para evitar que los mismos flocs se desintegren por exceso de movimiento.
- Calcular el aluminio residual del efluente residual tratado para verificar que éste cumpla con el VMA de aluminio el cual es $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.
- En el caso haya algún cambio en el proceso de producción en la empresa patrocinadora se deberá considerar que las dosis podrían aumentar o disminuir de acuerdo al pH de la muestra del efluente. Por ello se debe siempre medir el pH y tratar de mantenerlo constante durante las actividades del día para que el pH de la muestra compuesta a tratar se mantenga cerca de la neutralidad.
- Antes de implementar un tratamiento primario como coagulación-floculación se debería hacer un estudio de cómo la salinidad presente en el efluente industrial dañaría la maquinaria y cómo esta sal actúa como inhibidor del proceso de coagulación.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alatrística G, Quiroz A & Butrón M. (2015). Tratamiento de efluentes textiles por coagulación-floculación utilizando almidón de *Triticum aestivum* L. como ayudante del proceso. *The Biologist*, 13: 297-312

Alcarraz M, Gamarra G, Castro A & Godoy J. (2010). Eficacia de coagulantes en el tratamiento primario de efluentes de procesadora de frutas. *Ciencia e Investigación*, 13: 60-66.

American Public Health Association (APHA). (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22va. ed.) New York, Estados Unidos.

Anastasakis K, Kalderis D & Diamadopoulos E. (2010). Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater. *Water Science and Technology: Water Supply*, 61: 786-791.

Antov, M, Šćiban M & Petrović N (2010). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. *Bioresource Technology*, 101: 2167-2172.

Area M, Ojeda S, Barboza O, Bengoechea D & Felissia F. (2010). Tratamientos aplicables para la reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpados quimimecánicos y semiquímicos (revisión). *Revista de Ciencia y Tecnología*, 13: 4-12

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2012). *Estrategia para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos en el Perú*. Lima, Perú. 25 pp.

Beltrán J, Sánchez J, Delgado A & Jurado C. (2009). Removal of alizarin violet 3R (anthraquinonic dye) from aqueous solutions by natural coagulants. *Journal of Hazardous Materials*, 170: 43-50.

Bourke Mike, (2000). *Full Scale Study of Chemically Enhanced Primary Treatment in Riviera de Sao Lourenco, Brazil*. (Master's thesis) Massachusetts Institute of

Technology, Department of Civil and Environmental Engineering. Cambridge, USA. 148pp.

Cabrera X, Fleites M & Contreras A. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "Desembarco del Granma" a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, 29: 64-73.

Castrillón D. & De Los Ángeles M. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana* (Tesis de Pregrado). Facultad de Tecnologías. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 85pp.

Company J. (2000). *Coagulantes y floculantes aplicados en el tratamiento de aguas*. Gestió i Promoció Editorial, Barcelona. 255pp.

Cogollo J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *Dyna*, 78: 18-27.

Dogu I. & Arol A. (2004). Separation of dark-colored minerals from feldspar by selective flocculation using starch. *Powder Technology*, 139: 258-263.

Escalante J. (2013). Sedapal fiscalizará a tres mil empresas por tratamiento del agua. *El Comercio*. Jueves 12 de septiembre de 2013. Economía & Negocios.

Food and Agriculture Organization (FAO) (2011). *Compendium of Food Additive Specifications*. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 74th Meeting 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

Flores E, García F, Flores-Huicochea E, Núñez M, González R & Bello L. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55: 86-90.

Ghaly A, Snow A & Faber B. (2006). Treatment of grease filter washwater by chemical coagulation. *Canadian Biosystems Engineering/Le génie des biosystèmes au Canada*, 48: 6.13 - 6.22.

Godé L. (1983). Los polímeros orgánicos floculantes. Tipos, estructuras, propiedades y aplicaciones. *Tecnología del Agua*, 3: 37-46.

González J. (1983). Floculación, mecanismo y clasificación de los diferentes tipos de floculantes. Parte I. *Ingeniería Química*, 15: 23-30.

Järnström L, Lason L & Rigdahl M. (1995). Flocculation in kaolin suspensions induced by modified starches. Cationically modified starch - effects of temperature and ionic strength. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 104: 191-205.

Laines J, Goñi A. & Howard R. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33: 22-28.

Leal L, Llorens M, Sáez J, Aguilar M, Torres J & Ortuño J. (1998). Coagulation-flocculation as tertiary treatment of effluents from deep wastewater stabilization ponds. *Anales de Química*, 94: 121-126.

Mantilla D. (2013). Extracción y modificación de almidón de plátano cuatro filos (*Musa* spp del subgrupo silver bluggoe) para posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas. Facultad de Ingeniería Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia. 59 pp.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2012). *Perspectivas del medio ambiente mundial 2002 GEO-3*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México. 424 pp.

Rincón A, Trujillo D, Duque L, Arcila J, Pacheco S. & Herrera O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica de Manizales. Manizales, Colombia, 27: 17-34.

Salas G. (2003). Tratamiento físico-químico de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 5: 73-80.

Sánchez F. (2007). *Tratamientos combinados físico-químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera* (Tesis doctoral) Facultad de Ciencias. Universidad De Extremadura. Badajoz, España. 677pp.

Solís R, Laines J & Hernández J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28: 229-236.

Trujillo D, Duque L, Arcila J, Rincón A, Pacheco S & Herrera O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ión*, 27: 17-34

Unda Francisco. (1976). Métodos modernos de tratamiento de agua aplicable en América Latina: coagulación, dosificación, mezcla, floculación. Universidad Católica de Santiago de Chile. Santiago de Chile, Chile. 55 pp.

Valencia J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua Tomo I, Colombia. 43-47 pp.

Valores Máximos Admisibles (2009). Descargas de aguas residuales No Domésticas. Decreto Supremo N°021-2009-Vivienda. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (19 de Noviembre de 2009).

Vásquez, O. (1994). Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 103 pp.

ANEXOS

Anexo 1a. Decreto Supremo N°021-2009-Vivienda

El Peruano
Lima, viernes 20 de noviembre de 2009

 **NORMAS LEGALES**

406305

Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

**DECRETO SUPREMO
N° 021-2009-VIVIENDA**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 2° de la Ley N° 27792, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que es competencia del Ministerio, formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, correspondiéndole por tanto dictar normas de alcance nacional y supervisar su cumplimiento;

Que, asimismo el literal a) del Artículo 8° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2002-VIVIENDA, establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento diseña, norma y ejecuta la política nacional y acciones del sector en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento;

Que, la Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamientos, en adelante la Ley General, ha declarado que dichos servicios son de necesidad y utilidad pública y de preferente interés nacional, cuya finalidad es proteger la salud de la población y el ambiente;

Que, el Artículo 15° de la Ley General, establece que los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer uso adecuado de dichos servicios, no dañar la infraestructura correspondiente y cumplir con las normas que los Reglamentos de las entidades prestadoras establezcan; asimismo dispone que el daño o la depredación de los equipos e instalaciones de los servicios de saneamiento; así como el uso indebido de los mismos serán sancionados en la forma que establezca el Reglamento de la Ley General y las disposiciones que para el efecto dicte la Superintendencia, sin perjuicio de la responsabilidad penal que tuviese el infractor.

Que, mediante Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA se aprobó el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, en adelante el TUO del Reglamento;

Que, el literal g) del Artículo 56° del TUO del Reglamento establece como derecho de las EPS suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes industriales que se vierten en él, no cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente, quedando la EPS facultada para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio; por otro lado el literal h) del mismo artículo dispone que en casos especiales las EPS pueden cobrar el costo adicional por las cargas en el sistema de alcantarillado que superen los límites establecidos por cada EPS en su Reglamento de Prestación de Servicios, indicando que dicho costo adicional será considerado como un servicio colateral;

Que, el tercer párrafo del Artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece que corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado;

Que, las descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que deben ser reguladas, controladas y fiscalizadas, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, disminuyendo los costos de su operación y mantenimiento, y evitando el deterioro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales;

Que, por otro lado la presencia de sustancias nocivas en concentraciones elevadas en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado pone en peligro la salud de los seres humanos;

Que, es necesario regular las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, garantizando la sostenibilidad del tratamiento de las aguas residuales, estableciendo y aprobando para este caso Valores Máximos Admisibles (VMA) en lugar de Límites Máximos Permisibles, pues estos últimos son parámetros de orden ambiental que se aplican a las descargas de efluentes en cuerpos receptores y tiene influencia en el ecosistema y el ambiente;

Que, en ese sentido resulta necesario modificar e incorporar las disposiciones pertinentes establecidas en el TUO del Reglamento de la Ley General a fin de concordar la nomenclatura y definición de los VMA;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del Artículo 118° de la Constitución Política del Perú, Leyes N° 26338, N° 27792, N° 29338, Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, y demás normas pertinentes.

DECRETA:

Artículo 1°.- Finalidad, Ámbito de aplicación y obligatoriedad de la norma

La presente norma regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 2°.- Aprobación de Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector saneamiento

Apruébese los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 que forman parte integrante de la presente norma.

Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en el Anexo N° 1, deberán pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Los parámetros contenidos en el Anexo N° 2 no pueden ser sobrepasados. En caso se sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio.

Artículo 3°.- Definición de Valores Máximos Admisibles (VMA)

Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA) como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Artículo 4°.- Pago por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario

Las EPS o las que hagan sus veces, podrán cobrar a los usuarios no domésticos el pago adicional, de acuerdo a la normatividad vigente, correspondiente al exceso de concentración de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de

Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (AyG), medidos en la caja de registro de la red de alcantarillado o un dispositivo adecuado para este proceso, conforme al procedimiento que se establecerá en el Reglamento de la presente norma.

La metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los valores máximos admisibles, será elaborada y aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, en un plazo no mayor de la fecha de entrada en vigencia del Reglamento de la presente norma. Dicha metodología deberá ser incorporada en el Reglamento de Prestación de Servicios correspondiente a cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 5º.- Suspensión del Servicio de Alcantarillado

Las EPS o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas en virtud de la presente norma a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado en los casos que se regulen en el reglamento y que deriven de la vulneración de los anexos N°1 y N°2.

Artículo 6º.- Caso fortuito o fuerza mayor

Cuando por caso fortuito o fuerza mayor el usuario no doméstico efectúe descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario superando los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecido en el Anexo N° 2 de la presente norma, las EPS o las entidades que hagan sus veces, evaluarán si procede exonerar temporalmente al usuario no doméstico de los alcances del artículo 5º, de acuerdo a lo establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 7º.- Control de las aguas residuales no domésticas

El monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS o las entidades que hagan sus veces, contando para ello con la participación de laboratorios debidamente acreditados ante INDECOPI. Los pagos deberán ser asumidos por el usuario no doméstico de acuerdo al procedimiento que el ente competente establecerá concordante con la presente norma. La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 8º.- Actualización de los VMA

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se encuentra autorizado a modificar los Valores Máximos Admisibles a través de una Resolución Ministerial. Para tal efecto, la Dirección Nacional de Saneamiento, evaluará y, de ser el caso, sustentará la modificación y actualización de los parámetros de los Valores Máximos Admisibles, señalados en los Anexos N° 1 y N° 2, previo análisis y estudio efectuado por las EPS o las entidades que hagan sus veces, de acuerdo a la caracterización del tipo de descarga no doméstica vertida a los sistemas de alcantarillado.

Artículo 9º.- Prohibiciones

Queda totalmente prohibido descargar directa o indirectamente a los sistemas de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que en razón de su naturaleza, propiedades y cantidad causen por sí solos o por interacción con otras descargas algún tipo de daño, peligro e inconveniente en las instalaciones de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo indicado en el Reglamento de la presente norma.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

PRIMERA.- La presente norma entrará en vigencia conjuntamente con la aprobación de su Reglamento, el cual será elaborado por el Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento en un plazo máximo de trescientos sesenta y cinco (365) días calendario, contados a partir de la publicación de la presente en el Diario Oficial El Peruano.

SEGUNDA.- Los usuarios que a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, se encuentren efectuando descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, deberán adecuar sus descargas a las disposiciones establecidas en la presente norma, en un plazo no mayor de cinco (05) años.

En el caso de nuevos usuarios del sistema de alcantarillado sanitario las disposiciones de la presente norma serán de aplicación inmediata.

TERCERA.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, mediante Resolución Ministerial, aprobará las normas complementarias que sean necesarias, para la aplicación e implementación del presente Decreto Supremo.

CUARTA.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS

ÚNICA.- Modifíquense los literales g) y h) del Artículo 56º del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, con el texto siguiente:

Artículo 56º.- Son derechos de la EPS:

(...)

g) Suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes no domésticos que se vierten en él, no cumplan con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos en la normatividad vigente. Las EPS o las entidades que hagan sus veces, quedan facultadas para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio.

h) Cobrar el costo adicional por las cargas contaminantes descargados en el sistema de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por la normatividad vigente. Dicho pago adicional será incorporado en el Reglamento de Prestación de Servicios de cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS DEROGATORIAS

ÚNICA.- Deróguese todas las normas que se opongan al presente Decreto Supremo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil nueve.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO N° 01

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESION	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/l	A y G	100

ANEXO N° 02

Valores Máximos Admisibles (1)

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	500
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁴⁺	80
pH (2)	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables (2)	M/L/h	S.S.	8.5
Temperatura(2)	°C	T	<35

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.

(2) Estos parámetros, serán tomadas de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

**SUPERINTENDENCIA
NACIONAL DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO**

Aprueban Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y modifican el Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento

**RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO
N° 044-2012-SUNASS-CD**

Lima, 26 de diciembre de 2012

VISTO:

El Informe N° 027-2012-SUNASS/100 presentado por la Gerencia de Políticas y Normas, la Gerencia de Supervisión y Fiscalización y el Tribunal Administrativo de Solución de Reclamos de los Usuarios de los Servicios de Saneamiento-TRASS, que contiene la propuesta de: i) Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario; ii) Modificación del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS; y iii) Modificación del Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 003-2007-SUNASS, su correspondiente Exposición de Motivos y la evaluación de los comentarios recibidos;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 15 de la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338, establece que los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer uso adecuado de dichos servicios y no dañar la infraestructura correspondiente;

Que, asimismo, los literales h) y g) del artículo 56 del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA, señalan que es derecho de la empresa prestadora de los servicios de saneamiento cobrar el costo adicional por las cargas contaminantes descargadas en el sistema de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles (VMA); así como suspender el servicio de alcantarillado cuando las características de las aguas residuales no domésticas no cumplan con los VMA;

Que, el literal i) del artículo 72 del reglamento anteriormente citado, señala que está prohibido arrojar en las redes de desagüe elementos que contravengan las normas de calidad de los efluentes;

Que, mediante Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, publicado en el Diario Oficial "El Peruano" el 20 de noviembre de 2009, se aprobaron los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, establecidos en sus Anexos Nos 1 y 2, señalándose que la metodología para la determinación de los pagos adicionales será elaborada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento-SUNASS;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 025-2011-SUNASS-CD, publicada en el Diario Oficial "El Peruano" el 20 de julio de 2011, se aprobó la metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas en el servicio de alcantarillado;

Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, publicado en el Diario Oficial "El Peruano" el 22 de mayo del 2011, se aprobó el Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, el cual ha sido modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA, publicado en el Diario Oficial "El Peruano" el 4 de marzo de 2012;

Que, el artículo 12 y la Disposición Complementaria Transitoria Única del Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA señala que la SUNASS deberá aprobar: i) Normas correspondientes a la facturación del pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, ii) Mecanismos de atención de reclamos, iii) Procedimiento para aplicación de sanciones: suspensión y reposición del servicio de alcantarillado sanitario, y iv) Mecanismos y procedimientos para la supervisión, fiscalización y monitoreo de los VMA;

Que, el artículo 4 de la Resolución de Consejo Directivo N° 025-2011-SUNASS-CD estableció que la SUNASS supervisará y fiscalizará a las empresas prestadoras a fin de que cumplan con efectuar el monitoreo y control de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, de acuerdo con lo establecido por la normativa vigente;

Que, el literal b) del artículo 6 del Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las EPS, señala los aspectos comprendidos dentro de la función supervisora, por lo que resulta conveniente adecuar dicha normativa;

Que, el Capítulo II del Título V del Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA, tipificó las infracciones aplicables a los Usuarios No Domésticos; por tanto, corresponde derogar el artículo 125, numeral 9) del Reglamento de Calidad de la Prestación de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS-CD;

Que, el artículo 23 del Reglamento General de la SUNASS, aprobado por Decreto Supremo N° 017-2001-PCM, estableció que las decisiones normativas o reguladoras deben ser publicadas previamente para recibir opiniones del público en general, como requisito para la aprobación de las normas de alcance general y regulaciones;

Que, con el propósito antes referido, la SUNASS aprobó mediante Resolución de Consejo Directivo N° 056-2011-SUNASS, publicada en el Diario Oficial "El Peruano" el 9 de diciembre de 2011, la publicación del proyecto normativo;

Que, evaluados los comentarios recibidos, corresponde aprobar el texto definitivo de la norma;

De conformidad con lo dispuesto por el artículo 20 del Reglamento General de la SUNASS y con el acuerdo adoptado en Sesión de Consejo Directivo N° 025-2012;

HA RESUELTO:

Artículo 1°.- Aprobar la Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, que forma parte integrante de la presente resolución y su correspondiente Exposición de Motivos.

Artículo 2°.- Incorporar a la Directiva, aprobada por el artículo 1° de la presente Resolución: i) La metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, aprobada por Resolución de Consejo Directivo N° 025-2011-SUNASS-CD y ii) Las disposiciones contenidas en los artículos 4 y 5 de la Resolución de Consejo Directivo N° 025-2011-SUNASS-CD.

Artículo 3°.- Modificar el literal b) del artículo 6 del Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 003-2007-SUNASS-CD, con el tenor siguiente:

"Artículo 6°.- Aspectos comprendidos dentro de la función supervisora.

Los aspectos materia de supervisión respecto de las EPS, son los siguientes:

(...)

b) Aspectos técnico operacionales: Aquellos vinculados a los procesos de tratamiento y distribución de agua potable; mantenimiento y buen uso de la infraestructura de los servicios de saneamiento; verificación de la actividad de control de calidad del agua potable suministrada a la población por parte de las EPS, de conformidad con las normas que emita la autoridad competente; los procesos de recolección de aguas residuales, que incluye la labor de monitoreo y control de los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas de conformidad con la normativa sobre la materia; tratamiento de las aguas residuales, así como su disposición final".

...

Artículo 4°.- Derogar el numeral 9 del artículo 125 del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS-CD.

Artículo 5°.- En el plazo máximo de 2 meses, contado desde la entrada en vigencia de la presente norma, las EPS presentarán a la Gerencia de Supervisión y Fiscalización de la SUNASS, el plan de trabajo para la implementación de la presente Directiva. Con tal finalidad, la Gerencia de Supervisión y Fiscalización brindará asesoría técnica a las EPS que así lo soliciten.

Artículo 6°.- Disponer la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial "El Peruano" y en la página web de la SUNASS (www.sunass.gob.pe).

Con el voto aprobatorio de los señores Consejeros Fernando Momiy Hada, Jorge Luis Olivarez Vega, Mariene Amanda Inga Coronado y Julio Baltazar Durand Carrión.

Regístrese y publíquese.

FERNANDO MOMIY HADA
Presidente del Consejo Directivo

DIRECTIVA SOBRE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

TÍTULO PRIMERO DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objetivo
Artículo 2.- Ambito de aplicación
Artículo 3.- Definiciones

TÍTULO SEGUNDO

PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE USUARIOS NO DOMÉSTICOS, MONITOREO Y CONTROL DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

CAPÍTULO 1: REGISTRO DE USUARIOS NO DOMÉSTICOS

Artículo 4.- Declaración Jurada de Usuario No Doméstico
Artículo 5.- Registro de Usuario No Doméstico
Artículo 6.- Certificado de adecuación

CAPÍTULO 2: MONITOREO Y CONTROL DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

Artículo 7.- Obligaciones de la EPS referidas al monitoreo y control
Artículo 8.- Obligaciones del Usuario No Doméstico
Artículo 9.- Supervisión y Fiscalización a las EPS

CAPÍTULO 3: MUESTREO DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

Artículo 10.- Consideraciones para el muestreo
Artículo 11.- Caracterización de la descarga
Artículo 12.- Muestra compuesta y muestra puntual
Artículo 13.- Eficacia en la implementación de los VMA

CAPÍTULO 4: CONDICIONES DE MUESTREO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

Artículo 14.- Laboratorio acreditado
 Artículo 15.- Toma de muestra
 Artículo 16.- Informe técnico

TÍTULO TERCERO**METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN EL ANEXO N°1 DEL DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA****CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES**

Artículo 17.- Establecimiento de rangos
 Artículo 18.- Establecimiento del límite de pago adicional por cada rango
 Artículo 19.- Pesos de los parámetros

CAPÍTULO 2 FÓRMULA

Artículo 20.- Fórmula

CAPÍTULO 3: ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN

Artículo 21.- Revisión de la metodología
 Artículo 22.- Incorporación al Reglamento de Prestación de Servicios

TÍTULO CUARTO**FACTURACIÓN DEL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ANEXO N° 1 DEL DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA****CAPÍTULO ÚNICO: PROCEDIMIENTO DE FACTURACIÓN DEL PAGO ADICIONAL**

Artículo 23.- Obligaciones de la EPS referidas a facturación
 Artículo 24.- Facturación
 Artículo 25.- Recibo de pago
 Artículo 26.- Facturación en predios con varias unidades de uso

TÍTULO QUINTO**PROCEDIMIENTO DE ATENCIÓN DE RECLAMOS REFERIDO A LOS VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS****CAPÍTULO 1: PROCEDIMIENTO DE ATENCIÓN DE RECLAMOS**

Artículo 27.- Objetivo
 Artículo 28.- Tipos de reclamos
 Artículo 29.- Presentación de reclamos
 Artículo 30.- Plazo para la presentación de reclamos
 Artículo 31.- Etapa de investigación: medios probatorios

CAPÍTULO 2: GARANTÍAS ESPECIALES PARA EL USUARIO NO DOMÉSTICO

Artículo 32.- Prohibición de condicionar el reclamo.
 Artículo 33.- Prohibición de suspensión del servicio de alcantarillado durante el procedimiento.
 Artículo 34.- Aplicación supletoria

TÍTULO SEXTO**PROCEDIMIENTO DE SANCIÓN A USUARIOS NO DOMÉSTICOS POR INCUMPLIMIENTO DE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS****CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES**

Artículo 35.- Objetivo
 Artículo 36.- Principios aplicables

CAPÍTULO 2: PROCEDIMIENTO SANCIONADOR

Artículo 37.- Investigación preliminar
 Artículo 38.- Inicio del procedimiento sancionador
 Artículo 39.- Descargos de los Usuarios No Domésticos
 Artículo 40.- Actuaciones de investigación.
 Artículo 41.- Fin del procedimiento
 Artículo 42.- Recursos administrativos
 Artículo 43.- Costos administrativos del procedimiento

ANEXOS

ANEXO N° 1: DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
 ANEXO N° 2: FORMATO DE RESULTADO DE MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS
 ANEXO N° 3: MODELO DE RECIBO DE PAGO
 ANEXO N° 4: FORMATO DE RECLAMO REFERIDO A VMA

DIRECTIVA SOBRE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO**TÍTULO PRIMERO****DISPOSICIONES GENERALES****Artículo 1.- Objetivo**

La presente directiva tiene como objetivo establecer las normas complementarias al Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, modificado por Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA, en lo referido a:

- i) Registro de Usuarios No Domésticos, monitoreo y control de los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario;
- ii) Facturación del pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA;
- iii) Metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA;
- iv) Reglamento de reclamos referidos a los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas;
- v) Procedimiento de sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento a los Usuarios No Domésticos por incumplimiento de los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas.

Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación

La presente directiva es de observancia obligatoria y general para los Usuarios No Domésticos y las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento.

Artículo 3°.- Definiciones

- a) Descargar: Acción de verter, depositar o inyectar aguas residuales al sistema de alcantarillado sanitario de forma continua o intermitente.
- b) Declaración Jurada: Es la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, la que debe ir acompañada de los resultados de los análisis del laboratorio acreditado ante el INDECOPi, entre otros; conforme lo señalado en el Anexo I del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.
- c) EPS: Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento.
- d) Factor de Ajuste: Factor de ajuste para calcular el pago adicional, determinado sobre la base de la metodología aprobada por la SUNASS.
- e) INDECOPi: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
- f) Muestra dirimente: Muestra que se toma en la misma oportunidad que la muestra original a ser analizada, y la contramuestra, bajo los mismos criterios, para analizar y/o compararla en el caso que existan eventuales reclamos sobre la validez de los resultados de la muestra.
- g) Muestra Compuesta.- Es la combinación de alícuotas de muestras individuales; el volumen de cada

una de las muestras individuales deberá ser proporcional al caudal de agua residual en el momento de su toma. Se utiliza para los siguientes parámetros: DBO, DQO, TSS, Aceites y Grasas y metales indicados en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

h) Muestra puntual: Su uso es obligatorio para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse, esto es pH, sólidos sedimentables (S.S.) y temperatura (T).

i) Pago adicional: Pago por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

j) Punto de muestreo: Es el lugar seleccionado para la toma de muestras.

k) Registro de Usuarios No Domésticos: Base de datos donde la EPS inscribe a los Usuarios No Domésticos, los que deberán incluir la Declaración Jurada, los resultados de las pruebas de laboratorio y demás documentos anexos, conforme a la normativa sobre la materia.

l) Usuario No Doméstico: Usuario del servicio de alcantarillado que descarga aguas residuales no domésticas a la red de alcantarillado.

m) Usuarios No Domésticos Nuevos: Son los Usuarios No Domésticos, que a partir de la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, descargan aguas residuales no domésticas a la red de alcantarillado sanitario, ya sea porque es un nuevo usuario del servicio de alcantarillado o porque siendo usuario del servicio de alcantarillado realiza un cambio de uso del predio y variación en el número o tipo de unidades de uso.

n) Usuarios No Domésticos en Actividad: Son los Usuarios No Domésticos, que a la fecha de entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, vienen descargando aguas residuales no domésticas a la red de alcantarillado sanitario.

TÍTULO SEGUNDO

PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE USUARIOS NO DOMÉSTICOS, MONITOREO Y CONTROL DE LOS VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

CAPÍTULO 1: REGISTRO DE USUARIOS NO DOMÉSTICOS

Artículo 4°.- Declaración Jurada de Usuario No Doméstico

4.1 La EPS está obligada a solicitar a los Usuarios No Domésticos la presentación de la Declaración Jurada y a mantener actualizado el Registro de Usuarios No Domésticos; debiendo entregar a éstos un código de registro.

4.2 Para el caso de Usuarios No Domésticos Nuevos que realicen alguna de las actividades señaladas en el Anexo N° 1 de la presente directiva, la EPS tiene un plazo máximo de tres (03) meses para solicitarles la presentación de la Declaración Jurada.

4.3 Para el caso de Usuarios No Domésticos en Actividad que realicen alguna de las actividades señaladas en el Anexo N° 1 de la presente directiva, la EPS tendrá un plazo máximo de seis (06) meses para solicitarles la presentación de la Declaración Jurada. Este plazo comenzará a contarse a partir de la fecha en que les sea aplicable el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Sin perjuicio de lo antes expuesto, la EPS podrá requerir la presentación de la Declaración Jurada a aquellos Usuarios No Domésticos que no realicen alguna de las actividades señaladas en el Anexo N° 1 de la presente directiva de considerarlo conveniente y previa prueba inopinada.

4.4 La Declaración Jurada podrá ser presentada por un tercero siempre que cuente con la autorización del Usuario No Doméstico.

4.5 El Usuario No Doméstico, a fin de declarar los meses de máxima y mínima producción en la Declaración Jurada, deberá considerar la capacidad de producción instalada, turnos de operación, volúmenes de producción u otro parámetro relevante para el tipo de actividad. En el caso de Usuarios No Domésticos Nuevos deben considerar dichos meses en base a los ingresos proyectados.

Si los resultados de los análisis señalados en la Declaración Jurada no fueron efectuados en los meses de mayor producción, la EPS podrá efectuar la toma de muestra inopinada conforme al artículo 21 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, en dicho periodo.

Si la actividad productiva es uniforme, los resultados de la caracterización de la descarga deberán tener una antigüedad no mayor a 30 días a la fecha de su presentación.

Artículo 5°.- Registro de Usuarios No Domésticos

A efectos del registro y conjuntamente con los requisitos señalados en el artículo 16 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, el Usuario No Doméstico deberá presentar el esquema de sus procesos unitarios de la actividad que realice, así como el diagrama de flujo del tipo de tratamiento que brinda al agua residual, de ser el caso, que debe incluir las características de calidad del efluente tratado, su caudal de descarga e insumos químicos utilizados, si corresponde.

Artículo 6°.- Certificado de Adecuación

Los Usuarios No Domésticos en Actividad que adecuen sus descargas a los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA antes de la fecha en que el mencionado decreto les sea aplicable, podrán solicitar a la EPS que expida un certificado de adecuación de sus descargas. El referido certificado no tiene carácter definitivo y podrá ser factible de monitoreo y control por parte de la EPS.

CAPÍTULO 2: MONITOREO Y CONTROL DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

Artículo 7°.- Obligaciones de la EPS referidas al monitoreo y control

7.1 La EPS tendrá a su cargo la vigilancia y cumplimiento de las disposiciones contenidas en los Decretos Supremos N° 021-2009-VIVIENDA y N° 003-2011-VIVIENDA, así como el monitoreo y control de los VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas como mínimo una vez al año.

7.2 De forma anual, la EPS está obligada a realizar pruebas de ensayo inopinadas al cinco por ciento (5%), como mínimo, de los Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos, los que serán seleccionados de forma aleatoria; asimismo, deberá realizar un estudio del efecto que causan las descargas de parámetros que superan los VMA a su infraestructura y a los procesos en las plantas de tratamiento de aguas residuales bajo su administración.

Artículo 8°.- Obligaciones del Usuario No Doméstico

Los Usuarios No Domésticos están sujetos a la inspección y control de la EPS, para lo cual deberán cumplir con las disposiciones de los Decretos Supremos N° 021-2009-VIVIENDA y N° 003-2011-VIVIENDA; asimismo, deberán:

a) Contar y mantener en buen estado un punto de muestreo. Para el caso de Usuarios No Domésticos con fuente de agua propia, adicionalmente, deberán instalar y mantener en buen estado los dispositivos de aforo y medición (de la fuente de agua) y los accesos que permitan verificar los volúmenes de descarga.

b) Informar a la EPS cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características de las aguas residuales.

c) Informar a la EPS la planificación de reducción o expansión futura de las instalaciones existentes.

Queda prohibido usar como procedimiento de tratamiento la dilución de los residuos líquidos con aguas ajenas al proceso, incorporadas sólo con el fin de reducir las concentraciones. Para estos efectos, no se consideran aguas ajenas al proceso las aguas servidas provenientes del establecimiento.

Artículo 9°.- Supervisión y Fiscalización a las EPS

La SUNASS supervisará y fiscalizará a las EPS a fin que cumplan con efectuar el monitoreo y control de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario, de acuerdo a lo establecido por la normativa vigente, asimismo impondrá las sanciones correspondientes.

Para dicho efecto aplicará el Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, aprobado por

Resolución de Consejo Directivo N° 003-2007-SUNASS-CD, en lo que corresponda.

CAPÍTULO 3: MUESTREO DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

Artículo 10°.- Consideraciones para el muestreo

10.1 Para determinar si las descargas a la red de alcantarillado exceden los VMA, se deberá cuantificar cada uno de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo 021-2009-VIVIENDA. La EPS, en los controles inopinados, sólo analizará los parámetros que así lo considere.

10.2 La toma de muestra se realizará en el punto de muestreo, que se encontrará ubicado en el sitio donde fluye la totalidad de las aguas residuales no domésticas de la unidad de uso y que garantice el libre acceso de la EPS.

Artículo 11°.- Caracterización de la descarga

La caracterización de la descarga se realizará en base a la concentración de cada uno de los parámetros y de preferencia en el mes de mayor actividad productiva.

Artículo 12°.- Muestra compuesta y muestra puntual

12.1 Los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA serán determinados a través de una muestra compuesta.

Los parámetros del Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA: pH, temperatura y sólidos sedimentables serán determinados a través de una muestra puntual. Los otros parámetros del Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA serán determinados a través de una muestra compuesta.

12.2 La muestra puntual deberá ser tomada de manera continua en un día normal de operación, que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que genera la descarga.

12.3 La muestra compuesta es el resultado de la combinación de doce (12) muestras puntuales, que serán tomadas cada dos (02) horas durante veinticuatro (24) horas consecutivas en el punto de muestreo. El volumen de cada una de las muestras puntuales deberá ser proporcional al caudal de agua residual en el momento de su toma, dicho caudal, se determinará de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas establecidas para dicho fin.

12.4 Para cada una de las doce (12) muestras mencionadas anteriormente, se determinará el pH y temperatura, los cuales no deberán exceder los VMA, para el caso de pH las doce (12) muestras puntuales, no deberá estar fuera del rango permitido (6 a 9) y para el caso de la temperatura (T) no exceder los 35° C.

12.5 Para el caso del parámetro de sólidos sedimentables (S.S.), la muestra puntual no debe exceder el VMA (8.5 ML/h).

Artículo 13°.- Eficacia en la implementación de los VMA

Para efectos de cuantificar la eficiencia de la implementación de los VMA, la EPS debe realizar un estudio, como mínimo una vez al año, en el que tomará como insumo los resultados del monitoreo de los parámetros del Anexo N° 01 y N° 02 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Los parámetros del Anexo N° 01 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA serán determinados al ingreso y salida de las plantas de tratamiento de aguas residuales bajo la administración de la EPS, para determinar su eficiencia de remoción. Los parámetros del Anexo N° 02 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA sólo serán determinados al ingreso de las referidas plantas.

Sobre la base de los resultados del monitoreo, la EPS debe: i) Identificar la fuente de origen de los parámetros que sobrepasan los VMA y ii) Adoptar medidas para promover que los Usuarios No Domésticos adecuen sus descargas, de ser el caso.

En los casos, donde no exista una planta de tratamiento de aguas residuales, la medición de los parámetros del Anexo N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA se realizará en los puntos de disposición final.

CAPÍTULO 4: CONDICIONES DE MUESTREO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

Artículo 14°.- Laboratorio Acreditado

Las características y condiciones de los envases, preservación y volúmenes, así como los tiempos y métodos de análisis de los parámetros a evaluar, serán realizados únicamente por laboratorios que tengan acreditación ante INDECOPI, cumpliendo las normas y protocolos técnicos aprobados por dicha Entidad.

Artículo 15°.- Toma de muestra

15.1 La toma de muestra será responsabilidad del laboratorio acreditado ante INDECOPI, contratado para tal fin. Asimismo, será responsable de la mezcla para obtener la muestra compuesta, la preservación y traslado al laboratorio respectivo.

15.2 Las muestras podrán ser realizadas de forma manual o con muestreadores automáticos, debiéndose efectuar el registro del caudal de descarga para cada muestra puntual.

Artículo 16°.- Informe técnico

El laboratorio acreditado ante INDECOPI, emitirá un informe técnico, que incluirá los resultados de las concentraciones de cada parámetro, los cuales se resumirán en el Anexo N° 2 de la presente Directiva. El Informe tiene carácter potestativo.

TITULO TERCERO

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN EL ANEXO N°1 DEL DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA

CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES

Artículo 17°.- Establecimiento de rangos

En concordancia con el principio de incentivar la reducción de las descargas de los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la presente metodología establece cinco (05) rangos de concentración de los parámetros (DBO5, DQO, SST, AyG) en relación a los incrementos de concentraciones establecidas como VMA de las descargas de aguas residuales en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario y la transición de estos valores en relación a la dilución de la ciudad y los efectos generados y proyectados en la operación y mantenimiento de la red colectora y plantas de tratamiento de desague, con la finalidad de incentivar en los Usuarios No Domésticos la adecuación de sus sistemas con un pretratamiento antes de verter sus desagües a la red colectora.

Definición de Rangos de Parámetros

RANGO	PARAMETROS			
	DBO5	DQO	SST	AyG
VMA (mg/L)	500	1000	500	100
Rango 1	500,1-550	1000,1-1100	500,1-550	100,1-150
Rango 2	550,1 - 600	1100,1 - 1200	550,1 - 600	150,1 - 200
Rango 3	600,1 - 1000	1200,1 - 2500	600,1 - 1000	200,1 - 450
Rango 4	1000,1 - 10 ⁶	2500,1 - 10 ⁶	1001 - 10 ⁶	451 - 10 ⁶
Rango 5	Mayor a 10 ⁶	Mayor a 10 ⁶	Mayor a 10 ⁶	Mayor a 10 ⁶

Artículo 18°.- Establecimiento de límite de pago adicional por cada rango

Adicionalmente, se establece límites del pago por exceso para cada rango establecido:

Definición de Límite de Pago Por Exceso

RANGO	LÍMITE DE PAGO POR EXCESO
Rango 1	25% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 2	75 % del importe por el servicio de alcantarillado
Rango 3	100% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 4	10 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 5	20 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado

Artículo 19°.- Pesos de los parámetros
La metodología establece pesos específicos para cada uno de los parámetros: DBO5, DQO, AyG y SST:

Asignación Porcentual

PARÁMETRO	ASIGNACIÓN PORCENTUAL
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	25 %
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	35 %
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	20 %
Aceites y Grasas	20 %

CAPÍTULO 2: FÓRMULA

Artículo 20°.- Fórmula

El pago adicional a ser aplicado a los usuarios no domésticos que producen agua residual no doméstica con concentraciones de DBO, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los Valores Máximos Admisibles del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, en adelante VMA, será aplicado sobre la estructura tarifaria previamente definida entre la EPS y la SUNASS.

Por tanto, únicamente los usuarios que opten por arrojar en la red colectora pública agua residual no doméstica con concentraciones de DBO5, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los VMA deberán realizar el pago adicional.

Ecuación 1:

$$PA = \text{Importe a facturar por el servicio de alcantarillado} * F$$

Donde:

PA = Pago adicional
F = Factor de ajuste para calcular el pago adicional

Factores por cada Rango:

Factores por cada Rango

RANGO	FACTORES INDIVIDUALES				TOTAL
	FDBO5	FDQO	FSST	FAYG	
Asignación porcentual	25%	35%	20%	20%	
Rango 1	6%	9%	5%	5%	25%
Rango 2	19%	26%	15%	15%	75%
Rango 3	25%	35%	20%	20%	100%
Rango 4	250%	350%	200%	200%	10 veces más
Rango 5	500%	700%	400%	400%	20 veces más

Ecuación 2:

$$F = FDBO5 + FDQO + FSST + FAYG$$

Donde:

F = Factor de ajuste para calcular el pago adicional
FDBO₅ = Factor de exceso de DBO5 de acuerdo al rango
FDQO = Factor de exceso de DQO de acuerdo al rango
FSST = Factor de exceso de SST de acuerdo al rango
FAYG = Factor de exceso de AyG de acuerdo al rango

CAPÍTULO 3: ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN

Artículo 21°.- Revisión de la metodología

La presente Metodología será aplicada, en cumplimiento con lo dispuesto en el Decreto Supremo N°

021-2009-VIVIENDA. Luego del primer año de aplicación, la SUNASS revisará los rangos y factores haciendo los ajustes pertinentes.

Artículo 22°.- Incorporación al Reglamento de Prestación de Servicios

Las EPS deberán incorporar en sus Reglamentos de Prestación de Servicios la presente metodología.

TÍTULO CUARTO

FACTURACIÓN DEL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ANEXO N° 1 DEL DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA

CAPÍTULO ÚNICO

Artículo 23°.- Obligaciones de la EPS referidas a facturación

Las obligaciones de las EPS consisten en:

- Facturar el pago adicional por las descargas de aguas residuales no domésticas que superen los VMA.
- Aplicar correctamente la metodología para la determinación del pago adicional, establecida por la SUNASS.
- Cumplir las obligaciones relativas a los contenidos mínimos del recibo de pago y a su entrega oportuna.

Artículo 24°.- Criterios Generales para la Facturación

24.1 La EPS sólo facturará el pago adicional a las conexiones domiciliarias de alcantarillado que se encuentren activas.

24.2 Para la aplicación de la metodología, se utilizará la información contenida en el Registro de Usuarios No Domésticos.

24.3 Previamente a la facturación, la EPS se encuentra obligada a comunicar al Usuario No Doméstico los resultados de la prueba de ensayo practicado por un laboratorio acreditado.

La mencionada comunicación deberá ser realizada al tercer día hábil de conocido el resultado, como máximo, y conforme la disposición contenida en el artículo 36 del Reglamento General de Reclamos de Usuarios de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 068-2006-SUNASS y la Ley de Procedimiento Administrativo General, Ley N° 27444, en lo que corresponda.

Artículo 25°.- Facturación

Conforme a lo señalado en el Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, cada Usuario No Doméstico deberá contar con un punto de muestreo; con los resultados del laboratorio, la EPS determinará el Factor de Ajuste correspondiente y el importe a facturar por pago adicional.

En caso un Usuario No Doméstico cuente con distintas unidades de uso en el predio, cada una de éstas contará con un punto de muestreo.

Artículo 26°.- Recibo de pago

26.1 El pago adicional y los costos de los análisis de laboratorio, en caso correspondan, serán incluidos en el recibo de pago por los servicios de saneamiento como otro concepto autorizado, para lo cual se le aplicarán las mismas reglas de facturación y cobranza de los servicios de saneamiento.

Estos conceptos deberán estar debidamente diferenciados. Adicionalmente, el recibo de pago deberá contener:

- Los Valores Máximos Admisibles.
- Los factores de exceso de DBO5, DQO, SST y AyG.
- El Factor de Ajuste (F) para calcular el pago adicional.

26.2 Los conceptos antes referidos serán incorporados en el recibo de pago, de acuerdo al modelo previsto en el Anexo N° 3 de la presente directiva, el cual es referencial pero su contenido obligatorio.

TITULO QUINTO

**PROCEDIMIENTO DE ATENCIÓN DE RECLAMOS
REFERIDO A LOS VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES
DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO
DOMÉSTICAS**

**CAPÍTULO 1: PROCEDIMIENTO DE
ATENCIÓN DE RECLAMOS**

Artículo 27°.- Objeto

El presente título establece las normas y procedimientos administrativos que rigen la atención y resolución de reclamos por incumplimiento de los VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas.

Artículo 28°.-Tipos de Reclamos

28.1. Los tipos de reclamos que pueden presentarse en aplicación de la normatividad sobre VMA de descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, son:

a) Reclamo comercial relativo a la facturación

Es aquel originado por controversias sobre aspectos que tienen incidencia directa en el monto a pagar por exceso de concentración en la descarga de agua residual no doméstica en los sistemas de alcantarillado sanitario, como son: i) El factor de ajuste y (ii) El factor de ajuste y el importe facturado por el servicio de alcantarillado.

b) Reclamo comercial no relativo a la facturación

Es aquel originado cuando: i) Se suspende el servicio de alcantarillado sanitario por incumplimiento del pago adicional o por incumplimiento de los parámetros establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA o ii) No se rehabilita el servicio de alcantarillado sanitario a pesar que cesaron las causas que determinaron la imposición de esa medida.

Cabe indicar que esta tipología de reclamos no es taxativa. Por otro lado, ante cualquier controversia sobre la validez de los resultados de la muestra, deberá tomarse en cuenta la disposición contenida en el numeral 15) del artículo 4 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

28.2. No procede el reclamo contra la suspensión del servicio de alcantarillado, cuando la medida se adopta sobre la base de los resultados presentados por el Usuario No Doméstico en la Declaración Jurada a que se refieren los artículos 17 y 20 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA. En estos casos, el Usuario No Doméstico deberá acreditar a la EPS la adecuación de sus descargas, debiendo ésta facilitar la conexión provisional únicamente para realizar la toma de las muestras posteriores.

28.3. Si a través del reclamo únicamente se cuestiona la facturación de: i) Los costos de la prueba inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante INDECOP, ii) Los servicios colaterales de suspensión y reapertura del servicio de alcantarillado y iii) El importe facturado por el servicio de alcantarillado, será de aplicación el Reglamento General de Reclamos de Usuarios de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 066-2006-SUNASS.

Artículo 29°.- Presentación de los reclamos

Podrá presentar reclamos el Usuario No Doméstico. Los reclamos se presentarán por escrito a través del Formato de Reclamo (Anexo N° 4 de la presente Directiva), pudiendo acompañar a éste la documentación que considere conveniente.

Al momento de presentación del reclamo, la EPS deberá dar a conocer al reclamante el "código de reclamo" correspondiente.

Artículo 30°.- Plazo para la presentación de reclamos**30.1. Reclamo comercial relativo a la facturación**

Los reclamos señalados en el artículo 28 numeral 28.1 literal a de la presente directiva, podrán ser presentados ante la EPS dentro de los dos (2) meses siguientes a la fecha de vencimiento de la facturación o de producido el hecho que lo motiva.

Toda ampliación del reclamo posterior a la presentación inicial por cualquier concepto o meses reclamados, se aceptará hasta los cinco (5) días hábiles posteriores a la presentación del reclamo.

30.2. Reclamo comercial no relativo a la facturación
Los reclamos por suspensión del servicio de alcantarillado señalados en el artículo 28 numeral 28.1 literal b de la presente directiva, podrán ser presentados ante la EPS en tanto se mantenga la situación de cierre.

Artículo 31°.- Etapa de investigación: medios probatorios

Durante el presente procedimiento, se podrán ofrecer los siguientes medios probatorios:

31.1 Los previstos en el Reglamento General de Reclamos de los Usuarios de los Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 066-2006-SUNASS, en lo que corresponda.

Reclamo comercial relativo a la facturación

31.2 El Informe Técnico de la EPS que, según el tipo de reclamo, análisis e interpretación, debe contener:

- El Acta de toma de muestra inopinada, conforme el Anexo II del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.
- Los resultados de la prueba de laboratorio, acreditado por INDECOP, de los parámetros establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de ser el caso.
- Los resultados de la prueba de laboratorio referida a la muestra dirimente, conforme lo señalado en el numeral 15 del artículo 4° del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, de ser el caso.

31.3 El Informe de Facturación de la EPS que, dependiendo del caso, elaborará sobre la base de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico o el resultado de la prueba de laboratorio, el cual incluirá:

- La determinación de los Factores individuales de cada uno de los parámetros señalados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.
 - La determinación del Factor de Ajuste para calcular el pago en exceso (resultado de la suma de los factores individuales).
 - La liquidación del costo de prueba de laboratorio a efectos de verificar el exceso de concentración de los parámetros establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, el cual deberá ser presentado por la EPS acompañando la documentación que acredite fehacientemente los costos.
- Para el caso de predios que sólo utilicen el servicio de alcantarillado sanitario, adicionalmente:
- Informe que sustente el volumen a facturar, el mismo que deberá precisar cuál fue el método utilizado para determinar el volumen, si fue obtenido por medidor instalado o por aforo, así como el porcentaje por alcantarillado.

Reclamo comercial no relativo a la facturación

31.4 Informe que sustente la causa que originó la suspensión del servicio o la falta de reapertura, el que deberá ir acompañado de:

- Ordenes de Servicio correspondientes.
- Los resultados de la prueba de laboratorio.

CAPÍTULO 2: GARANTÍAS ESPECIALES PARA EL USUARIO NO DOMÉSTICO**Artículo 32°.- Prohibición de condicionar el reclamo**

La EPS no podrá condicionar la atención de un reclamo comercial por facturación al pago previo del concepto y monto reclamado. En las facturaciones posteriores no podrá incluirse el concepto y monto objeto de reclamo mientras éste no haya sido resuelto en instancia final.

Sin perjuicio de lo anterior, la EPS se encuentra facultada para el cobro de los conceptos y montos no reclamados, incluyendo el pago de los intereses correspondientes, así como al cierre del servicio en caso de incumplimiento.

Artículo 33°.- Prohibición de suspensión del servicio de alcantarillado durante el procedimiento

Ninguna EPS podrá disponer la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario cuando la medida se fundamenta en la falta de pago de los montos y conceptos reclamados.

En el caso que los análisis determinen que las descargas del Usuario No Doméstico superan los parámetros del Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS no podrá disponer el cierre del servicio de alcantarillado sanitario si el reclamo es interpuesto ante la EPS antes de que se ejecute la medida.

Artículo 34°.- Aplicación supletoria

Las disposiciones del Reglamento General de Reclamos de Usuarios de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 086-2006-SUNASS, y sus modificatorias, serán de aplicación supletoria.

TÍTULO VI

PROCEDIMIENTO DE SANCIÓN POR INCUMPLIMIENTO DE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 35.- Objetivo

El presente título establece el procedimiento sancionador que aplicarán las EPS a los Usuarios No Domésticos que incurran en las infracciones previstas en el Capítulo II del Título V del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA, o el dispositivo que lo sustituya.

El presente título no será de aplicación a la suspensión del servicio de alcantarillado que se realice por:

- i) Incumplimiento de los parámetros máximos establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.
- ii) Incumplimiento del pago adicional por exceso de concentración de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo 021-2009-VIVIENDA, por dos (02) periodos consecutivos o por dos (02) periodos no consecutivos en un periodo de cuatro (04) meses.

En estos casos, la medida se ejecutará en forma inmediata, siendo obligación de la EPS reponer el servicio una vez que cesen las condiciones que determinaron su imposición, sin perjuicio que el Usuario No Doméstico interponga el reclamo respectivo ante la EPS, de acuerdo con los procedimientos, requisitos y plazos establecidos para tal fin.

Artículo 36°.- Principios aplicables

El ejercicio de la potestad sancionadora de la EPS en el marco de un Procedimiento Sancionador deberá observar los principios establecidos en el artículo 230 de la Ley del Procedimiento Administrativo General.

CAPÍTULO 2: PROCEDIMIENTO SANCIONADOR

Artículo 37°.- Investigación preliminar

Antes de iniciar el procedimiento sancionador, de oficio o por denuncia o queja de terceros, la EPS podrá realizar actuaciones previas de investigación, averiguación e inspección con el objeto de determinar con carácter preliminar si concurren circunstancias que justifiquen su inicio.

Durante la investigación preliminar la EPS podrá:

- a) Requerir al Usuario No Doméstico información respecto a las actividades que realiza.
- b) Evaluar la documentación que haya sido presentada por el Usuario No Doméstico.
- c) Realizar las acciones de inspección y control previstas en el Capítulo III del Título IV del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

Artículo 38°.- Inicio del Procedimiento Sancionador

El procedimiento sancionador se inicia con la notificación al Usuario No Doméstico presuntamente infractor de la resolución que contiene:

- a) La descripción de los hechos y de la conducta infractora que se imputa.
- b) La norma que tipifica la infracción.
- c) La sanción que, en su caso, se podría imponer.
- d) El plazo dentro del cual el Usuario No Doméstico podrá presentar los descargos.

e) El órgano encargado de imponer la sanción.

En el caso de la infracción prevista en el literal c del artículo 27° del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, la EPS imputará al Usuario No Doméstico como conducta infractora grave la presunta comisión de la segunda falta leve dentro del plazo previsto, no requiriéndose que la responsabilidad administrativa de ésta última sea acreditada en un Procedimiento Sancionador distinto. El mismo tratamiento será aplicable a los casos previstos en el literal b del artículo 28° del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA.

Artículo 39°.- Descargos

La EPS otorgará al Usuario No Doméstico, para formular sus descargos, un plazo de diez (10) días hábiles contados a partir del día siguiente de notificada la resolución que inicia el procedimiento.

Tratándose de las infracciones sobre descargas no permitidas al sistema de alcantarillado sanitario prescrito en el segundo párrafo del artículo 10 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, la EPS podrá dar por concluido el procedimiento sancionador si el Usuario No Doméstico, dentro del plazo para presentar sus descargos o antes de finalizado el procedimiento sancionador, acredita el cese de la conducta infractora y ello es verificado por la EPS.

Los costos en que incurra la EPS para verificar la adecuación de la conducta serán trasladados al Usuario No Doméstico y podrá emitirse en la siguiente facturación, de acuerdo a lo establecido en el artículo 43 de la presente directiva.

Artículo 40°.- Actuaciones de investigación

Presentados los descargos o vencido el plazo para hacerlo, la EPS realizará las acciones necesarias para determinar si existe o no responsabilidad del Usuario No Doméstico en la infracción imputada en un plazo no mayor de 15 días hábiles, prorrogable por igual término si la complejidad del caso lo requiera.

Artículo 41°.- Fin del Procedimiento

El procedimiento sancionador culminará con la resolución que disponga la imposición de una sanción al Usuario No Doméstico o establecer la no existencia de infracción, en caso de no haberse acreditado. Dicha resolución deberá cumplir con los requisitos de validez del acto administrativo establecidos en el artículo 3 de la Ley del Procedimiento Administrativo General.

La resolución que dispone la aplicación de la sanción o la no existencia de ésta deberá consignar:

- a) Número y fecha de la resolución.
- b) Determinación de la infracción cometida sobre la base de los hechos probados en el procedimiento.
- c) Descripción de los descargos del Usuario No Doméstico de ser el caso y su correspondiente análisis.
- d) Criterios adoptados para determinar la sanción.
- e) Sanción a imponer y el plazo en que se llevará a cabo.
- f) Firma del representante de la EPS.
- g) Órgano superior encargado de resolver el recurso administrativo de apelación.

La resolución que finaliza el procedimiento debe ser expedida en el plazo de cinco (05) días hábiles de finalizada la etapa de investigación y será notificada al Usuario No Doméstico en el mismo plazo.

Artículo 42°.- Recursos Administrativos

Los recursos administrativos que pueden presentar los Usuarios No Domésticos contra las resoluciones que imponen sanción son el de reconsideración y el de apelación de acuerdo a las condiciones establecidas en el Capítulo II del Título III de la Ley del Procedimiento Administrativo General.

El recurso de reconsideración se interpone ante el órgano competente de la EPS para imponer la sanción; asimismo, el recurso de apelación debe dirigirse al mismo órgano para que lo eleve al Tribunal Administrativo de Solución de Reclamos-TRASS.

Artículo 43°.- Costos Administrativos del Procedimiento

Los costos de los análisis y demás medios probatorios, que realicen la EPS durante el procedimiento

sancionador, serán asumidos por el Usuario No Doméstico cuando los resultados demuestren que se han superado los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. El cobro de dicho importe podrá efectuarse en el recibo correspondiente al siguiente ciclo de facturación de culminado el procedimiento.

**ANEXO N° 1
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES**

Item	Descripción
1	Cria de ganado bovino
2	Producción de leche, excepto acopio
3	Cria de ganado bovino y su explotación de lana
4	Cria de ganado porcino
5	Cria de aves, para producción de carne y huevos
6	Explotación de minas de carbón Producción de petróleo crudo
7	Extracción de minerales metálicos
8	Extracción de otros minerales
9	Matanza de ganado
10	Frigoríficos, excepto a depósitos y almacenamiento con o sin refrigeración, y otros servicios conexos al transporte, almacenamiento y comunicaciones
11	Matanza y conservación de aves
12	Preparación de fiambres, embutidos y conservas de carnes
13	Fabricación de mantequilla y quesos, quesillos, crema, yogurt
14	Fabricación de leche condensada, en polvo o elaborada
15	Fabricación de helados, sorbetes y otros postres
16	Elaboración y emvasado de frutas y legumbres, incluidos los jugos
17	Elaboración de pasas, frutas y legumbres secas
18	Fabricación de dulces, mermeladas, jaleas
19	Fabricación de conservas, caldos concentrados y otros alimentos deshidratados
20	Elaboración de pescado, crustáceos y otros productos marinos
21	Elaboración de aceites y grasas vegetales y subproductos
22	Elaboración de aceites y grasas animales no comestibles
23	Extracción de aceites de pescado y otros animales marinos
24	Producción de harina de pescado
25	Elaboración de fideos, tallarines y otras pastas
26	Fabricación y refinación de azúcar
27	Fabricación de cacao y chocolate en polvo
28	Fabricación de condimentos, mostazas y vinagres
29	Fabricación de almidón y sus derivados
30	Fabricación de levaduras
31	Elaboración de alimentos preparados para animales
32	Destilación de alcohol etílico
33	Destilación, rectificación de bebidas alcohólicas
34	Fabricación de vinos
35	Elaboración de sidras y otras bebidas fermentadas, excepto las malteadas
36	Elaboración de malta, cerveza y bebidas malteadas
37	Elaboración de bebidas no alcohólicas y aguas minerales gasificadas y embotellado de aguas naturales y minerales
38	Tintorerías industriales y acabados textiles
39	Estampados
40	Fabricación y acabado de tejidos de punto, cuando incluyan blanqueo y teñido
41	Curtiduría y talleres de acabado
42	Preparación y teñido de pieles
43	Aserraderos

Item	Descripción
44	Fabricación de pulpa de madera
45	Fabricación de papel y cartón
46	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón
47	Imprenta y encuadernación (sólo las que usan tinta)
48	Fotografado y litografía
49	Editoriales
50	Fabricación de productos químicos industriales básicos, orgánicos e inorgánicos
51	Fabricación de abonos
52	Fabricación de plaguicidas, insecticidas, fungicidas y herbicidas
53	Fabricación de pinturas, barnices, lacas, esmaltes y charoles
54	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos
55	Fabricación de jabones, detergentes y champús
56	Fabricación de perfumes, cosméticos, lociones, pasta dentífrica y otros productos de tocador
57	Fabricación de ceras
58	Fabricación de desinfectantes y desodorizantes
59	Fabricación de explosivos y municiones
60	Fabricación de colas, adhesivos, aprestos y cementos
61	Fabricación de tintas
62	Refinería de petróleo
63	Fabricación de materiales para pavimentos y lechado a base de asfalto
64	Fabricación de briquetas de combustibles y otros productos derivados del petróleo y del carbón
65	Fabricación de vidrios planos, templados, espejos, cristales, parabrisas
66	Fabricación de material refractario
67	Fabricación de cemento, cal, yeso y tubos de cemento
68	Fabricación de productos primarios de metales no ferrosos
69	Fabricación de muebles y accesorios principalmente metálicos
70	Esmaltado, barnizado, lacado, galvanizado, chapado y pulido de artículos metálicos
71	Fabricación y reparación de motores, turbinas y máquinas de vapor y de gas excepto calderas
72	Fabricación de discos, cintas magnéticas, casetes
73	Fabricación de aparatos y válvulas de radiografías, fluoroscopia y otros aparatos de rayos X
74	Fabricación de planchadoras, ventiladoras, enceradoras y aspiradoras y otros aparatos y accesorios eléctricos de uso doméstico
75	Fabricación de ampolletas, tubos eléctricos, focos, pilas eléctricas, linternas
76	Astilleros
77	Construcción, reparación y modificación de maquinaria y equipo ferroviario
78	Construcción, montaje, reconstrucción y reformas de vehículos
79	Fabricación de piezas y accesorios para vehículos
80	Fabricación de bicicletas y motocicletas y sus piezas especiales
81	Fabricación de aeronaves y sus partes
82	Producción de instrumentos y suministros de cirugía general, cirugía dental y aparatos ortopédicos y protésicos
83	Generación, transmisión y distribución de electricidad
84	Producción de distribución de gas
85	Lavanderías y tintorerías
86	Grifos y talleres de cambio de aceites de vehículos
87	Mercados
88	Centros comerciales de venta de pescado, carnes
89	Restaurantes
90	Hospitales y clínicas

ANEXO N° 2

FORMATO DE RESULTADO DE MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

FORMATO DE RESULTADO DE MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

No de suministro
 Código de registro VMA
 Fecha

1.- DATOS DEL USUARIO NO DOMESTICO

1.1. Titular de la conexión

1.2. Dirección Telefon/fax

1.3. Actividad Económica (CIR)

1.4. Turnos de funcionamiento
 Información de los días y horarios de la actividad, indicando el número de personas en cada horario

1.5. Meses de funcionamiento durante el año

2.- DATOS DEL LABORATORIO

2.1. Razon social

2.2. Responsable de resultados

3.- RESULTADOS DEL MONITOREO

Código de muestra

Responsable toma de muestra

Lugar y fecha de toma

Tipo de muestra

N° de caracterizaciones

Fechas de cada caracterización

N° de muestras día

Frecuencia (horas)

ANEXO 1			
PARAMETRO	VMA	RESULTADO	EXCEDE LOS VMA (SI/NO)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	500 mg/L		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000 mg/L		
Sólidos suspendidos totales	500 mg/L		
Aceites y grasas	100 mg/L		

ANEXO 2			
PARAMETRO	VMA	RESULTADO	EXCEDE LOS VMA (SI/NO)
Aluminio	10 mg/L		
Arsénico	0,5 mg/L		
Boro	4 mg/L		
Cadmio	0,2 mg/L		
Cianuro	1 mg/L		
Cobre	3 mg/L		
Cromo hexavalente	0,5 mg/L		
Cromo total	10 mg/L		
Manganeso	4 mg/L		
Mercurio	0,02 mg/L		
Níquel	4 mg/L		
Pomo	0,5 mg/L		
Sulfatos	500 mg/L		
Sulfuros	5 mg/L		
Zinc	10 mg/L		
Nitrogeno amoniacal	80 mg/L		
pH	6 a 9		
Sólidos Sedimentables	8 S		
Temperatura	<35 C		

 Firma representante laboratorio

 Firma del titular del servicio

**ANEXO N° 3:
MODELO DE REFERENCIA DEL RECIBO DE PAGO**

Datos Generales					Información de pago	
Titular de la conexión				Referencia de cobro	Mes Facturado	
Dirección de Suministro			Distrito	Período de consumo		
Frecuencia de facturación	Tipo de facturación		Tarifa	Fecha de emisión		
Categoría	Unidad de Uso		Actividad	Fecha de vencimiento		
Parámetros		DOB	DOO	SSI	Aceites y grasas	
Valores Máximos Admisibles						
Valor obtenido						
Factor individual						
Factor Ajuste						
Datos del Medidor			Información de pago			
Medidor N°	Lectura anterior	Lectura Actual	Consumo (m3)	Concepto		Importe
Estructura Tarifaria				Servicio de agua potable		
Tarifa	Rango	Agua	Alcantarillado	Servicio de alcantarillado		
				Pago por exceso de concentración		
				Cargo I.G.V.		
Horario de abastecimiento				Fi		
Código						
Frecuencia						
De						
Hasta						
Diámetro Conexión				Importe total a pagar		

**ANEXO 4:
FORMATO DE RECLAMO REFERIDO A VMA**

CÓDIGO DE USUARIO NO DOMÉSTICO	<input type="text"/>	N° DE SUMINISTRO	<input type="text"/>
NOMBRE DEL RECLAMANTE O REPRESENTANTE		CÓDIGO DE RECLAMO	<input type="text"/>
		Teléfono fijo	<input type="text"/>
		Teléfono móvil	<input type="text"/>
		E-mail	<input type="text"/>
Apellido Paterno		Apellido materno	
		Nombres	
NÚMERO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD (DNI, LE, CI)		<input type="text"/>	
RAZÓN SOCIAL		<input type="text"/>	
UBICACIÓN DEL PREDIO			
(Calle, Jrón, Avenida)		N°	Mz.
			Lote
(Urbanización, barrio)	Provincia	Distrito	
DIRECCIONES PARA NOTIFICACIONES (máximo dos direcciones, si no se indica ninguna, se asume la del predio)			
1)		1)	1)
2)		2)	2)
(Calle, Jrón, Avenida)		N°	Mz.
			Lote
1)	1)	1)	
2)	2)	2)	
(Urbanización, barrio)	Provincia	Distrito	
1)	1)	1)	
2)	2)	2)	
Código Postal	Teléfono	Fax	
TIPO DE RECLAMO			
<input type="text"/>			
<input type="text"/>			
<input type="text"/>			
MESES RECLAMADOS	<input type="text"/>	AÑO	<input type="text"/>
	<input type="text"/>		<input type="text"/>
MONTO RECLAMADO	<input type="text"/>		
BREVE DESCRIPCIÓN DEL RECLAMO			
<input type="text"/>			
<input type="text"/>			
<input type="text"/>			
SUCURSAL / ZONAL ATENDIDO POR	<input type="text"/>		
	FIRMA		
FUNDAMENTO DEL RECLAMO (En caso de ser necesario, se podrán adjuntar páginas adicionales)			
<input type="text"/>			
<input type="text"/>			
<input type="text"/>			
RELACIÓN DE PRUEBAS QUE SE PRESENTAN ADJUNTAS			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Reverso

- a) Reclamo comercial relativo a la facturación
(i) El factor de ajuste y (ii) El factor de ajuste y el volumen facturado por el servicio de alcantarillado.
- b) Reclamo comercial no relativo a la facturación
i) Se suspende el servicio de alcantarillado sanitario ii) No se rehabilita el servicio de alcantarillado sanitario a pesar que cesaron las causas que determinaron la imposición de esa medida.

Cabe indicar que esta tipología de reclamos no es taxativa. Por otro lado, ante cualquier controversia sobre la validez de los resultados de la muestra, deberá tomarse en cuenta la disposición contenida en el numeral 15) del artículo 4 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

No procede el reclamo contra la suspensión del servicio de alcantarillado, cuando la medida se adopta sobre la base de los resultados presentados por el Usuario No Doméstico en la Declaración Jurada.

Si a través del reclamo únicamente se cuestiona la facturación de: i) Los costos de la prueba inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante INDECOPI, ii) Los servicios colaterales de suspensión y reapertura del servicio de alcantarillado y iii) El importe facturado por el servicio de alcantarillado, será de aplicación el Reglamento General de Reclamos de Usuarios de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución N° 066-2006-SUNASS-CD.

886421-1

ANEXO III

NORMA ASTM D2035-13 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water



Designation: D2035 – 13

Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water¹

This standard is issued under the fixed designation D2035; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers a general procedure for the evaluation of a treatment to reduce dissolved, suspended, colloidal, and nonsettleable matter from water by chemical coagulation-flocculation, followed by gravity settling. The procedure may be used to evaluate color, turbidity, and hardness reduction.

1.2 The practice provides a systematic evaluation of the variables normally encountered in the coagulation-flocculation process.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

1.4 This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

D1129 Terminology Relating to Water

D1193 Specification for Reagent Water

D1293 Test Methods for pH of Water

D3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits

D6855 Test Method for Determination of Turbidity Below 5

NTU in Static Mode

D7315 Test Method for Determination of Turbidity Above 1

Turbidity Unit (TU) in Static Mode

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology D1129.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.03 on Sampling Water and Water-Filled Deposits, Analysis of Water for Power Generation and Process Use, On-Line Water Analysis, and Surveillance of Water.

Current edition approved Jan. 1, 2013. Published February 2013. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2008 as D2035–08. DOI: 10.1520/D2035-13.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

4. Summary of Practice

4.1 The coagulation-flocculation test is carried out to determine the chemicals, dosages, and conditions required to achieve optimum results. The primary variables to be investigated using the recommended practice include, but are not limited to:

4.1.1 Chemical additives,

4.1.2 pH,

4.1.3 Temperature, and

4.1.4 Order of addition and mixing conditions.

5. Significance and Use

5.1 This practice permits the evaluation of various coagulants and coagulant aids used in the treatment of water and waste water for the same water and the same experimental conditions.

5.2 The effects of concentration of the coagulants and coagulant aids and their order of addition can also be evaluated by this practice.

6. Interferences

6.1 There are some possible interferences that may make the determination of optimum jar test conditions difficult. These include the following:

6.1.1 *Temperature Change (During Test)*—Thermal or convection currents may occur, interfering with the settling of coagulated particles. This can be prevented by temperature control.

6.1.2 *Gas Release (During Test)*—Flotation of coagulated floc may occur due to gas bubble formation caused by mechanical agitator, temperature increase or chemical reaction.

6.1.3 *Testing-Period*—Biological activity or other factors may alter the coagulation characteristics of water upon prolonged standing. For this reason the period between sampling and testing should be kept to a minimum, with the time being recorded.

7. Apparatus

7.1 *Multiple Stirrer*—A multiposition stirrer with continuous speed variation from about 20 to 150 rpm should be used. The stirring paddles should be of light gage corrosion-resistant material all of the same configuration and size. An illuminated base is useful to observe the floc formation. Precautionary

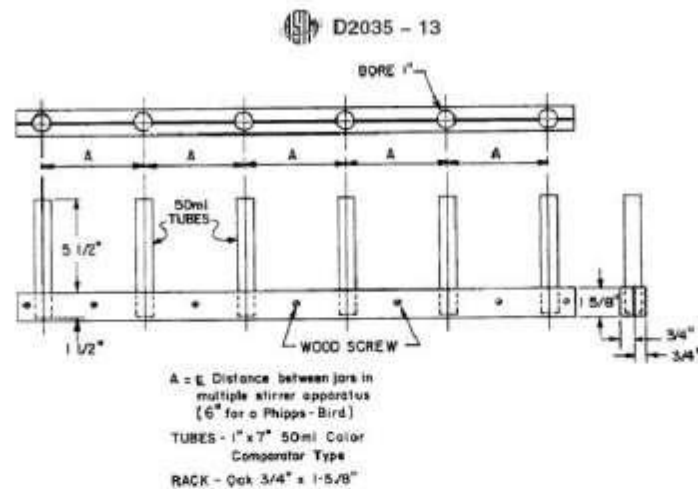


FIG. 1 Reagent Rack for Multiple Stirrer Jar Test Apparatus

measures should be taken to avoid heat being imparted by the illumination system which may counteract normal settling.

7.2 *Jars (or Beakers)*, all of the same size and shape; 1500-mL Griffin beakers may be used (1000-mL recommended minimum size).

7.3 *Reagent Racks*—A means of introducing each test solution to all jars simultaneously. There should be at least one rack for each test solution or suspension. The racks should be similar to that shown in Fig. 1.

8. Reagents

8.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.³ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

8.2 *Purity of Water*—Reference to water that is used for reagent preparation, rinsing or dilution shall be understood to mean water that conforms to the quantitative specifications of Type IV reagent water of Specification D1193.

8.3 The following chemicals and additives are typical of those used for test solutions and suspensions. The latter, with the exception of coagulant aids, may be prepared daily by mixing chemicals with water to a concentration of 10 (± 0.1) g/L (1.0 mL of test solution or suspension when added to 1 L of sample is equivalent to 10 mg/L):

Prime Coagulants
Alum($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)
Ferric sulfate ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 4H_2O$)
Ferric chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)
Ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
Magnesium carbonate ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$)
Sodium aluminate ($NaAlO_2$)
Coagulant Aids
Activated silica
Anionic (polyelectrolyte)
Cationic (polyelectrolyte)
Nonionic Polymer
Oxidizing Agents
Chlorine (Cl_2)
Chlorine dioxide (ClO_2)
Potassium permanganate ($KMnO_4$)
Calcium hypochlorite ($Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$)
Sodium hypochlorite ($NaOCl$)
Alkalis
Calcium carbonate ($CaCO_3$)
Dolomitic lime
(58% CaO , 40% MgO)
Lime, hydrated [$Ca(OH)_2$]
Magnesium oxide (MgO)
Sodium carbonate (Na_2CO_3)
Sodium hydroxide ($NaOH$)
Weighting Agents
Bentonite
Kaolin
Other clays and minerals
Miscellaneous
Activated carbon (powdered)

8.4 *Coagulant Aids*—There are numerous commercially available coagulant aids or polyelectrolytes. All polyelectrolytes are classified anionic, cationic or nonionic, depending upon their composition. These aids may have the ability to produce large, tough, easily-settled floc when used alone or in conjunction with inorganic coagulants. A small dosage (under 1 mg/L) may permit a reduction in the dosage of, or complete elimination of, the coagulant. In the latter case, the polyelectrolyte would be considered the prime coagulant rather than a coagulant aid. Aids come in powdered and liquid form. Powdered aids should be prepared as 0.1% solutions with appropriate aliquots to provide proper dosage. Always add

³ *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*—American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the listing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Annual Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd, Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopoeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopoeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.


D2035 - 13

powdered aids to the dissolving water rather than the reverse, and add slowly to the shoulder of a vortex created by stirring. If a vortex is not formed, the dry powder will merely collect on the surface of the water in gummy masses and become very difficult to dissolve. Dissolving time may vary from several minutes to several hours. Suggested manufacturers' procedures for wetting, dissolving, and storing should be followed when available. Liquid forms can be readily prepared to the above strength without difficulty.⁴

9. Sampling

9.1 Collect the water sample under test in accordance with the applicable Practices D3370.

10. Procedure

10.1 Measure equal volumes (1000 mL) of sample into each of the jars or 1500-mL Griffin beakers. As many sample portions may be used as there are positions on the multiple stirrer. Locate beakers so that the paddles are off-center, but clear the beaker wall by about 6.4 mm ($\frac{1}{4}$ in.). Record the sample temperature at the start of the test.

10.2 Load the test chemicals in the reagent racks. Use one rack for each series of chemical additions. Make up each tube in the rack to a final volume of 10 mL, with water, before using. There may be a situation where a larger volume of reagent will be required. Should this condition prevail, fill all tubes with water to a volume equal to the largest volume of reagent in the reagent rack. When adding slurries, it may be necessary to shake the rack to produce a swirling motion just prior to transfer.

10.3 Start the multiple stirrer operating at the "flash mix" speed of approximately 120 rpm. Add the test solution or suspensions, at predetermined dosage levels and sequence. Flash mix for approximately 1 min after the additions of chemicals. Record the flash mix time and speed (rpm).

10.4 Reduce the speed as necessary to the minimum required to keep floc particles uniformly suspended throughout

the "slow mix" period. Slow mix for 20 min. Record the time for the first visible floc formation. Every 5 min (during the slow mix period), record relative floc size and mixer speed (rpm). If coagulant aids are used, mixing speed is critical because excessive stirring tends to break up early floc formation and may redispense the aid.

10.5 After the slow mix period, withdraw the paddles and observe settling of floc particles. Record the time required for the bulk of the particles to settle. In most cases this time will be that required for the particles to settle to the bottom of the beaker; however, in some cases there may be interfering convection currents. If so, the recorded settling time should be that at which the unsettled or residual particles appear to be moving equally upward and downward.

10.6 After 15 min of settling, record the appearance of floc on the beaker bottom. Record the sample temperature. By means of a pipet or siphon, withdraw an adequate sample volume of supernatant liquor from the jar at a point one half of the depth of the sample, to conduct color,⁵ turbidity, pH and other required analyses, (Note 1) determined in accordance with Test Methods D6855 or D7315 (for turbidity) and D1293 (for pH). A suggested form for recording results is appended (see Fig. 2).

Note 1—Tests for residual chemicals should be included, for example, alum; residual Al_2O_3 ; copperas; residual Fe_2O_3 , etc.

10.7 Repeat steps 10.1-10.6 until all pertinent variables have been evaluated.

10.8 The times given in 10.3, 10.4, and 10.6 are only suggestions.

11. Reproducibility

11.1 It is recognized that reproducibility of results is important. To demonstrate reproducibility, the so-called 3 and 3 procedure is suggested. In this procedure, duplicate sets of 3 jars each are treated simultaneously with the same chemical dosages in jars 1 and 4, 2 and 5, and 3 and 6.

12. Keywords

12.1 coagulation; flocculation; jar tests

⁴ A periodically updated "Report on Coagulant Aids for Water Treatment" is published by the Environmental Protection Agency Office of Water Supply, Cincinnati, Ohio 45216, listing coagulant aids that may be used in water treatment without adverse physiological effects on those using the water, based on information submitted by the manufacturers or distributors, or both.

⁵ For the color determination, reference is made to Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, Fourteenth edition, American Public Health Association, Inc., New York, NY, 1975, pp. 64-71.