



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

INFORME FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**EVALUAR LA APLICACIÓN DE QUÍMICOS EN EL
CLARIFICADOR PRIMARIO Y SU IMPACTO EN LA
PREDOMINANCIA DE MICROORGANISMOS
INDICADORES EN LA LAGUNA DE LODOS ACTIVADOS
DE LA PTAR EN BIO PAPPEL S.A. DE C.V.**

INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

JACQUELINE LÓPEZ CRUZ

ASESOR INTERNO: ING. LEONARDO GÓMEZ GUTIÉRREZ

ASESOR EXTERNO: ING. SALVADOR HERNÁNDEZ BAUTISTA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

ENERO, 2023

Agradecimientos

Doy gracias a Dios, por permitirme llegar hasta este punto en la vida, por acompañarme y guiarme en mi carrera profesional, por darme la fortaleza necesaria en los momentos difíciles para alcanzar mis objetivos y nunca desistir.

A mi madre, Bella Icela Cruz Melgar, por darme la posibilidad de culminar mis estudios profesionales, apoyarme en los momentos buenos y malos a lo largo de mi carrera, impulsándome siempre a superarme, ser humilde y agradecida. Sin su amor ni sus palabras de aliento nada de esto hubiera sido posible.

A mis profesores, por compartirme sus conocimientos, sin ellos los conceptos serían solo palabras, por su paciencia y esmero en hacer que todo lo transmitido sea aprendido, hoy en día el conjunto de los conocimientos compartidos rinde fruto, siendo el fin de la vida estudiantil, y el principio de la vida profesional.

Al Ing. Leonardo Gómez Gutiérrez, por darme las herramientas necesarias para desenvolverme en este proyecto gracias a las materias que me impartió a lo largo de la carrera, por compartirme sus conocimientos, su dedicación y su perseverancia en la realización de este proyecto.

A Bio Pappel y al Biol. Emiliano Merino Camarillo, por permitirme realizar mi residencia profesional, otorgándome este proyecto, en el cual pude demostrar mis conocimientos y aptitudes, por brindarme las herramientas necesarias para la realización de este, así como a mi asesor externo, el Ing. Salvador Hernández Bautista y todo el personal de la PTAR.

Al Ing. Hans Yosaí Lara Mendoza, por su constante apoyo en la realización de este proyecto, así como todos sus comentarios y recomendaciones. De la misma forma a la Ing. Francisca Herrera García, a la Ing. Keila Mishelle Salcedo y a las futuras ingenieras Génesis León Pinacho y Paola Anastacio Sánchez, quienes me brindaron su apoyo y comprensión durante mi estadía en Bio Pappel.

Resumen

Los procesos de coagulación y floculación son de gran ayuda en una PTAR ya que ayuda a clarificar las aguas residuales mediante la adición de productos químicos, para ello es importante encontrar una dosis ideal, así como evaluar el impacto que tendrá en el tratamiento biológico. En este proyecto se realizaron pruebas de jarras en donde se evaluaron parámetros fisicoquímicos como turbidez, SST, SST por gravimetría, color verdadero, color verdadero por longitud de onda y DQO, así como las observaciones de microorganismos para evaluar el impacto de dichos productos. De tal forma, se encontró que el mejor producto químico es Starcoag con una dosis de catión de 250 ppm y de anión de 1.5 ppm ya que tiene un buen porcentaje de remoción en todos los parámetros antes mencionados, además que no afectó a la población microbiana en la laguna de lodos activados.

Palabras clave: Clarificación, coagulación, microorganismos, laguna de lodos activados.

Abstract

The coagulation and flocculation processes are of great help in a WWTP since it helps to clarify wastewater by adding chemical products, for this it is important to find an ideal dose, as well as to evaluate the impact it will have on biological treatment. In this project, jar tests were carried out where physicochemical parameters such as turbidity, TSS, gravimetric TSS, true color, true color by wavelength and COD were evaluated, as well as the observations of microorganisms to evaluate the impact of said products. In this way, it was found that the best chemical product is Starcoag with a cation dose of 250 ppm and anion of 1.5 ppm since it has a good percentage of removal in all the aforementioned parameters, in addition to not affecting the microbial population. in the activated sludge lagoon.

Keywords: Clarification, coagulation, microorganisms, activated sludge lagoon.

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Resumen	3
1. Introducción	9
2. Descripción de la empresa.....	10
2.1 Producción	10
2.1.1 Liner.....	10
2.1.2 Medium.....	11
2.1.3 Grocery bag	11
2.1.4 Premium	11
2.2 Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales	11
3. Problemas a resolver	17
4. Objetivos.....	17
4.1 Objetivo general	17
4.2 Objetivos específicos.....	17
5. Justificación	18
6. Marco teórico	19
6.1 Tratamiento de aguas residuales	19
6.1.1 Tratamientos físicos	19
6.1.2 Tratamientos biológicos.....	19
6.1.3 Tratamientos químicos	19
6.2 Etapas del tratamiento de aguas residuales.....	19
6.2.1 Pretratamiento.....	20
6.2.1.1 Área de cribas (Rastrillos).....	21
6.2.1.2 Separador de partículas sólidas	21
6.2.1.3 Desarenador	21
6.2.2 Tratamiento primario	22

6.2.2.1 Tanque de sedimentación primaria (Clarificadores)	22
6.2.3 Tratamiento secundario.....	22
6.2.3.1 Aireación.....	23
6.2.3.2 Sedimentación secundaria (Clarificador secundario)	23
6.2.4 Tratamiento terciario.....	24
6.3 Pruebas de control del proceso en una PTAR	25
6.3.1 pH	25
6.3.2 Grasas y aceites.....	26
6.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno	26
6.3.4 Sólidos suspendidos y sedimentables	26
6.3.5 Sólidos suspendidos totales y volátiles.....	26
6.3.6 Sólidos de los lodos totales y volátiles.....	26
6.4 Aguas residuales en la industria papelera.....	27
6.5 Coagulación.....	28
6.6 Floculación.....	29
6.7 Prueba de jarras	29
6.7.1 Condiciones	30
6.7.1.1 Mezcla rápida.....	30
6.7.1.2 Mezcla lenta.....	30
6.7.1.3 Preparación del polímero y dosificación.....	31
6.7.1.4 Muestra.....	31
6.7.2 Criterios para la evaluación	31
6.8 Microbiología de lodos activados	32
6.9 Crecimiento bacteriano	34
6.9.1 Crecimiento en términos de número de bacterias.....	34
6.9.2 Crecimiento en términos de masa bacteriana.....	35
6.9.3 Crecimiento en cultivos mixtos	36

6.9.4 Bacterias	37
6.9.5 Hongos.....	38
6.9.6 Protozoarios	38
6.9.6.1 Ciliados.....	38
6.9.6.2 Flagelados	38
6.9.6.3 Rhizopoda o Amiboidea	39
6.9.7 Rotíferos.....	39
7. Procedimiento y descripción de las actividades a realizar	39
7.1 Metodología	39
7.1.1 Preparación del coagulante	39
7.1.2 Preparación del floculante.....	39
7.1.3 Prueba de jarras	40
7.1.4 Análisis de parámetros fisicoquímicos	40
7.1.5 Observaciones de microorganismos.....	43
7.2.5.1 Cálculo para el conteo de microorganismos.....	43
8. Resultados y discusiones.....	45
9. Conclusiones	90
10. Recomendaciones	91
11. Experiencia personal adquirida	91
12. Competencias desarrolladas y/o aplicadas	91
13. Fuentes de información.....	92
14. Anexos.....	94
Anexo 1. Glosario de siglas y unidades.....	94
Anexo 2. Evidencia fotográfica de pruebas de jarras.....	95
Anexo 3. Microorganismos encontrados en la laguna de lodos activados de la PTAR de Bio Pappel S.A de C.V.	97
Anexo 4. Manual de microorganismos de una PTAR.	98

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Diagrama de bloques de la PTAR de Bio Pappel.....	13
Ilustración 2. Diagrama de la PTAR de Bio Pappel.....	15
Ilustración 3. Curva de crecimiento bacteriano en términos del número de bacterias viables. (Moeller & Tomasini, 2018).....	35
Ilustración 4. Curva de crecimiento bacteriano en términos de masa bacteriana. (Moeller & Tomasini, 2018).....	36
Ilustración 5. Gráfica de predominancia de microorganismos mixtos. (Moeller & Tomasini, 2018).....	37
Ilustración 6. Puntos de muestreo en la laguna de lodos activados.....	43
Ilustración 7. Prueba de jarras con Starccoag.....	95
Ilustración 8. Pruebas de jarras con AC 1220.....	95
Ilustración 9. Prueba de jarras con NALKAT 7607.....	96
Ilustración 10. Prueba de jarras en producción premium.....	96
Ilustración 12. Rotaria rotatoria.....	97
Ilustración 11. Zoothamnium sp.....	97
Ilustración 14. Prorodon teres.....	97
Ilustración 13. Filinia sp.....	97
Ilustración 15. Polyarthra sp.....	97
Ilustración 16. Lecane sp.....	97

Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de procesamiento de aguas residuales en México (INCYTU, 2019).....	20
Tabla 2. Frecuencia de muestreo recomendada (CONAGUA, 2015).....	27
Tabla 3. Determinación del índice de Willcomb. (Lorenzo Acosta, 2006).....	32
Tabla 4. Uso de coagulantes y floculantes.....	45

Tabla 5. Principales microorganismos según el tipo de producción.	87
Tabla 6. Predominancia de microorganismos en la PTAR de Bio Pappel S.A. de C.V.	88
Tabla 7. Glosario de siglas y unidades.	94

1. Introducción

Las industrias consumen grandes cantidades de agua diariamente para poder procesar sus productos, por ende, esta agua después de su utilización en el proceso de producción tiene gran cantidad de productos químicos los cuales deben ser eliminados o al menos disminuir la cantidad de estos para que así no tenga un impacto ambiental negativo en el cuerpo de agua receptor.

Actualmente el tratamiento de aguas residuales es muy importante para todo tipo de industrias ya que por medio de métodos físicos, químicos y biológicos eliminan gran parte de carga orgánica, residuos y contaminantes de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021.

El tratamiento de aguas residuales se compone de 4 etapas fundamentales; pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, en donde se combinan varios procesos de acuerdo con las características que presente el agua residual del proceso en cuestión.

Para mejorar el tratamiento de aguas residuales se usan coagulantes y floculantes los cuales ayudan a mejorar la clarificación de las aguas residuales, mejorando así los parámetros fisicoquímicos del agua en donde por medio de pruebas de jarras se evalúa la eficiencia de los productos químicos para encontrar la dosis ideal.

En la fabricación de papel el consumo de agua es intensivo, por lo que Bio Pappel S.A de C.V tiene procesos, equipos y conciencia ambiental del uso eficiente del agua.

El propósito de este proyecto es realizar pruebas de jarras para evaluar distintos productos químicos a distintas dosis y por medio del análisis de distintos parámetros fisicoquímicos encontrar el mejor producto químico, así como la dosis ideal a la cual se obtienen resultados efectivos. A la par se estará monitoreando los microorganismos de la laguna de lodos activados para conocer la cantidad de microorganismos existentes dentro de esta, así como para conocer cuáles son los microorganismos más predominantes y analizar el impacto que tiene un producto químico en los microorganismos, ya que estos son encargados de degradar la materia orgánica y son de suma importancia en el proceso del tratamiento de las aguas residuales.

2. Descripción de la empresa

Bio-Pappel es una empresa biosustentable que produce papel sin cortar árboles, utilizando papel reciclado. Es el mayor fabricante de papel y productos de papel en México y América Latina con una producción anual de más de 1.5 millones de toneladas de papel, así como 1.2 millones de toneladas anuales de productos de papel y empaque de cartón corrugado.

Su visión es ser una empresa líder en la creación de valor compartido a partir de una vigorosa cultura de aprendizaje, innovación, productividad, protección del ambiente y responsabilidad social.

Su misión empresarial es producir competitivamente papel, productos de papel y empaques sustentables para contribuir eficazmente al éxito de sus clientes, de la empresa y del medio ambiente.

La filosofía que comparten está enfocada en diferenciar a la empresa y sus productos impulsando una economía verde, baja en carbono e inspirar y ayudar a otros en este propósito.

2.1 Producción

En Bio Pappel S.A de C.V. planta Oaxaca se fabrica, comercializa y distribuye papel para empaques, papel bond, cartón corrugado y alta gráfica a través de un Sistema de Gestión Integral. A continuación, se detalla acerca de los distintos tipos de papel que produce dicha empresa.

2.1.1 Liner

El papel liner es de un gramaje de ligero a medio de color marrón de gran resistencia debido a que es de doble capa. Este tipo de papel se divide en donde de acuerdo a la materia prima, cuando es fabricado con fibra virgen es denominado Kraft liner, y cuando es fabricado con material reciclado se llama Test liner.

Este tipo de papel es utilizado para embalaje debido a su resistencia, ya que tiene moderada resistencia a la humedad y es resistente a las fuerzas de compresión y explosión, así como también se fabrica en varios anchos y gramajes, lo cual permite que se adapte a distintos diseños de cajas o productos para el empaquetado, además que es de material 100% reciclable.

Algunos usos que se le da al papel liner son:

- Cajas de cartón

- Separadores
- Cartón corrugado, de cara simple o doble cara.
- Sobres y bolsas
- Etiquetas de ropa
- Embalaje

2.1.2 Medium

El papel medium es fabricado con fibra reciclada la cual se hace con diferentes grados de encolado, este papel es de color marrón de distintos gramajes. Su principal uso es para la formación de la flauta de los empaques de cartón, la cual ayuda a la resistencia de la estiba del empaque.

Este papel se corruga formando una serie de S's invertidas, a su vez va pegado entre los liners y es la que contribuye con la mayor parte de la fortaleza del empaque de cartón.

2.1.3 Grocery bag

Este papel está hecho con fibras recicladas las cuales dan como producto final el papel que es utilizado para hacer las bolsas de papel o shopping bags de distintos gramajes de color marrón.

Dentro de sus características se encuentran:

- Resistencia moderada al agua
- Cuenta con propiedades antideslizantes
- Para impresión flexográfica

2.1.4 Premium

Este papel está hecho a base de papel periódico y magazine reciclable, el cual pasa por un blanqueamiento para que sea de color blanco en donde al igual que los otros tipos de papel existen de distintos gramajes.

2.2 Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales

Esta área tiene el objetivo de captar toda el agua proveniente del proceso. Mediante unas rejillas se separa material en suspensión, como plásticos, trozos de cartón, etc., y a través de un canal Parshall se cuantifica. Seguido pasa a un cárcamo en donde se encuentran 3 equipos de bombeo, los cuales envían el agua al clarificador. A esta etapa se le denomina tratamiento primario. En el tratamiento primario se separan los sólidos en suspensión presentes en el agua. Mediante la adición de un polímero catiónico, los sólidos se precipitan al fondo del clarificador, para posteriormente, mediante equipos de bombeo, transportarlos

a un sistema de prensado con la finalidad de eliminar la humedad y disponerse en forma de residuos celulósicos. El agua clarificada, producto del tratamiento primario, es vertida a un cárcamo de bombeo, que envía dicho producto de vuelta a proceso productivo o bien al reactor biológico que forma parte del tratamiento secundario. En el tratamiento secundario se efectúa la remoción de toda la materia orgánica presente en el agua, proveniente del tratamiento primario, mediante el uso de bacterias de tipo aerobio. Para mantener el oxígeno disuelto en el reactor, se emplean compresores que distribuyen aire comprimido a través de 6 cadenas de aireación que a su vez mantienen en suspensión el lodo activado para un mejor contacto y distribución en el reactor. Una vez que el agua pasa por el reactor biológico, pasa a la etapa de clarificación; en esta etapa ya no existe aireación, por lo que el lodo activado tiende a precipitarse al fondo del clarificador secundario. Dicho lodo mediante un sistema de vacío, es retornado nuevamente al reactor biológico, para emplearse nuevamente en el proceso de depuración secundaria. El agua producto del tratamiento secundario, mediante un sistema de tuberías, y conducción por gravedad, se transporta a un canal de baja velocidad, con el fin de precipitar partículas que pudieran haber pasado a través del clarificador secundario, seguido del canal de baja velocidad, el agua es vertida a un cárcamo en el cual se encuentran 2 equipos de bombeo que distribuyen el agua nuevamente al proceso.

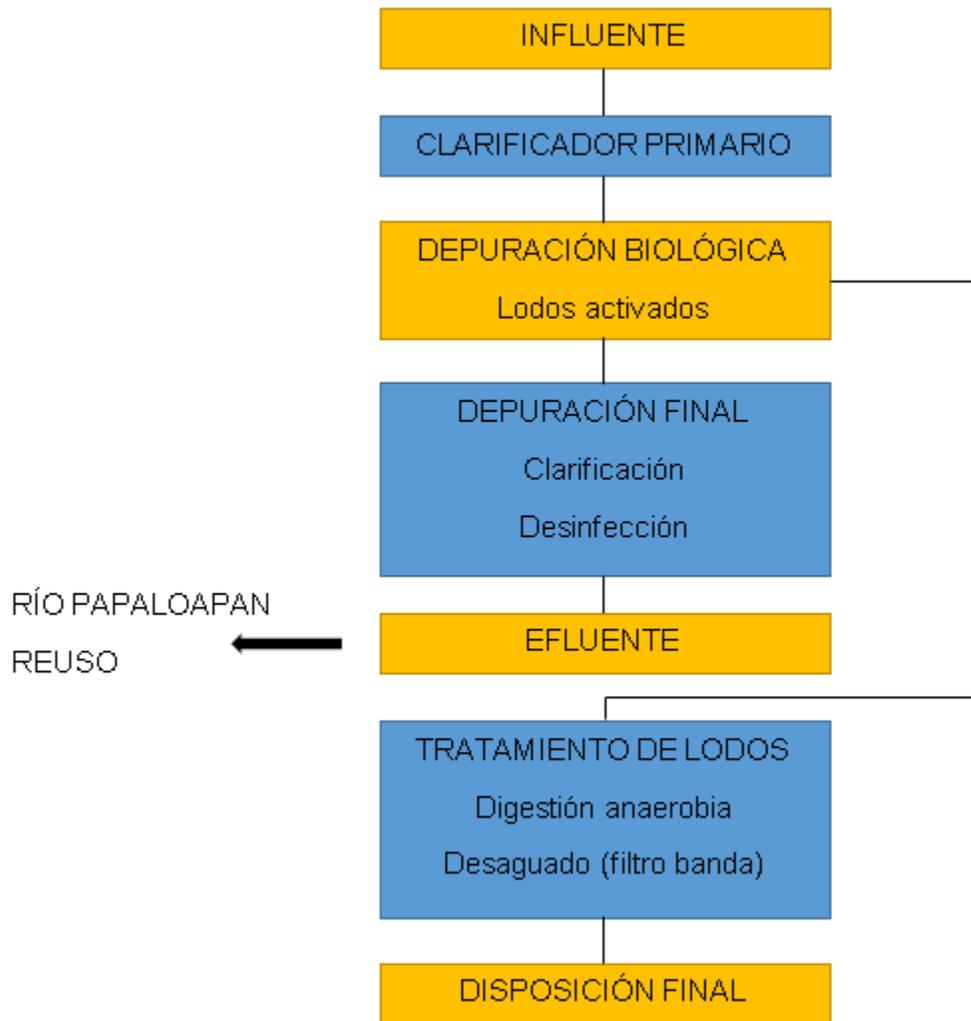


Ilustración 1. Diagrama de bloques de la PTAR de Bio Pappel.

El agua residual (influyente) proveniente de las distintas áreas de producción se conduce por gravedad hasta el pretratamiento donde se eliminan constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos y sistemas auxiliares. El agua pasa por un sistema de cribado con una apertura de malla de 8 mm y un transportador de sólidos.

Después el flujo es medido mediante un canal Parshall el cual tiene instalado un transmisor, donde ingresa por gravedad a un cárcamo de bombeo con capacidad para 96 m³ el cual cuenta con 2 bombas tipo sumergibles para el desalojo de las aguas residuales al clarificador primario con una capacidad de 3,500 m³.

El influente del tratamiento primario se divide en 2 corrientes de agua, la primera corriente (10,500 m³/d) pasa por gravedad al cárcamo de bombeo de agua primaria para reúso con capacidad de 40 m³ con 2 equipos de bombeo tipo sumergible para enviar el agua a un bacín. La operación de las bombas es tipo cascada (SCADA) por un transmisor de nivel los cuales tienen una protección de temperatura y humedad para cada equipo.

La segunda corriente de agua primaria (14,000 m³/d) es cuantificada en un canal Parshall el cual tiene un transmisor de flujo para la medición puntual y acumulada del influente alimentado al sistema biológico por gravedad.

El sistema biológico de lodos activados está compuesto por un registro de mezcla con capacidad de 4.6 m³, donde se mezclan las aguas residuales provenientes del clarificador primario con la mezcla de lodos biológicos de recirculación del clarificador final. A esta mezcla de lodos-agua residual se le conoce como licor mezclado.

En el registro de mezcla, se tiene la adición de los nutrientes (N y P) requeridos para el metabolismo de los microorganismos. Se prepara en un tanque de polietileno de 5 m³ donde se prepara a una concentración conocida utilizando N y P de UREA.

Posteriormente el licor mezclado pasa a la zona de aireación en un tanque de lodos activados con capacidad de 12,452 m³ que opera bajo la modalidad de aireación extendida o baja carga (F/M), donde los microorganismos toman la materia orgánica, la metabolizan y transforma en productos completamente oxidados, estables de bajo peso molecular, una parte mínima de sustratos es utilizada para los microorganismos para síntesis celular o reproducción.

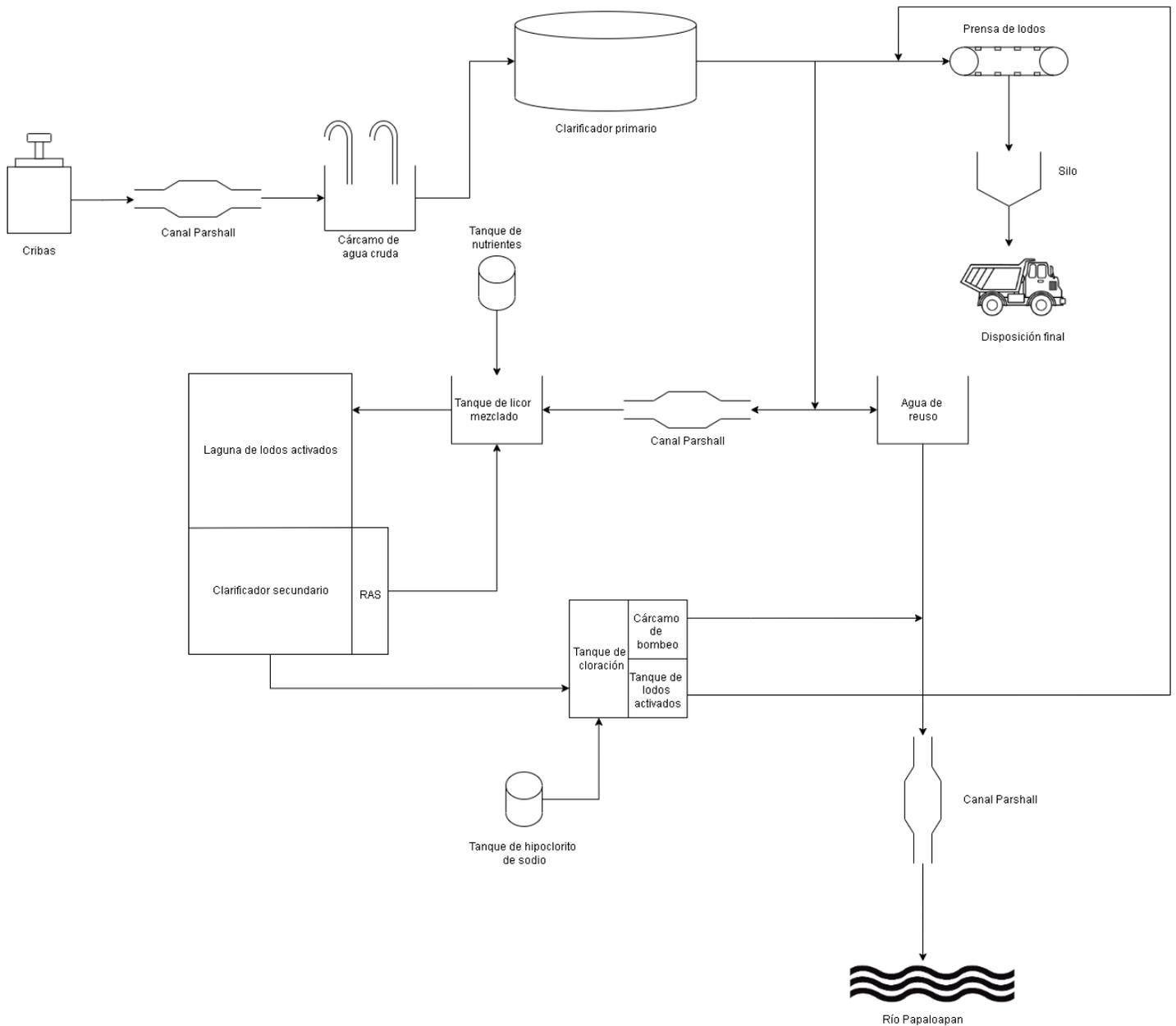


Ilustración 2. Diagrama de la PTAR de Bio Pappel.

El sistema de lodos activados INVENT/E-FLEX para Bio Pappel printing planta Oaxaca, es del tipo aerobio y para lograr mantener la fase aerobia se prevé la difusión de aire oxígeno con sopladores de desplazamiento positivo y un sistema integrado de cadenas de aireación con paneles de difusores de microburbuja. La inducción de aire por difusión con este sistema se logra mantener un buen contacto entre la materia orgánica (“comida”) y los lodos biológicos (bacterias). A la vez de que se logra un eficiente mezclado se satisface la cantidad requerida de oxígeno en la degradación y oxidación de las sustancias contaminantes, de esta manera se logra una completa remoción de la materia orgánica.

Para satisfacer la demanda de oxígeno, el suministro de aire-oxígeno es surtido por un total de 4 sopladores de desplazamiento positivo AERZEN para un flujo de 1635.66 scfm. En operación normal se utilizará únicamente 2 sopladores en operación manual y uno en alternancia auto (oxígeno-tiempo), más un último soplador de standby. El número de sopladores estará en función de la carga disponible de la papelera y del contenido de oxígeno en el tanque de lodos activados del orden de 1.0 a 3.0 ppm de oxígeno disuelto. Cada soplador es para un flujo de 1635.66 scfm (2780.6 m³/h) y una potencia de 84 KW a 3540 rpm y 460 V. El sistema de distribución y difusión de aire-oxígeno, lo complementan 6 cadenas de aireación que alimenta 11 paneles de aireación INVENT/E-FLEX para un total de 66 paneles que manejan un flujo de aire de 45 a 801 scfm/panel.

Una vez que los lodos biológicos alcanzan la parte final de la zona aerobia el licor mezclado pasa a una etapa integrada de separación y/o clarificación, a través del clarificador secundario, donde los flóculos se asientan o sedimentan por gravedad hacia el fondo, para extraerse mediante un sistema de bombas elevadora de aire (air-lift) hasta una caja de descarga de los AIR-LIFT, donde se conducen por gravedad los lodos biológicos hacia la recirculación de lodos activados (Recirculation of Activated Sludge, conocido por sus siglas en inglés como RAS) hasta la parte inicial del registro de mezcla.

Al retornar los lodos biológicos nuevamente al sistema, mantienen un equilibrio dinámico entre la población de microorganismos que son requeridos para degradar la cantidad de materia orgánica disponible. A tal relación se le conoce como F/M (Food to Mass ratio) o relación “alimento/microorganismos” y es expresada en kg DBO₅/SSLM-día.

Una vez separados los flóculos biológicos o lodos activados del agua tratada, esta última alcanza la superficie del clarificador y se conduce a través de 3 tubos-colectores sumergidos de orificios que conducen el agua tratada a una velocidad uniforme para evitar el arrastre de sólidos y se comunica a un extremo del clarificador donde se tiene una caja repartidora de flujo.

El efluente tratado se conduce por gravedad a un tanque de contacto con cloro con capacidad para 79 m³ y un tiempo de 8 minutos, tiempo suficiente para garantizar la desinfección o inactivación de bacterias tipo patógeno. Este efluente pasa por gravedad hasta el cárcamo de bombeo de agua secundaria de reúso donde se tienen 2 bombas sumergibles que envían el agua tratada a un tanque de almacenamiento existente.

Una parte del efluente tratado se descarga directamente al río Papaloapan.

Dentro del tanque de lodos activados una parte es convertida en biomasa, que una vez que alcanza la síntesis de diseño debe desecharse para mantener una concentración constante en el tanque, que al ser purgados pasan a un digestor de lodos con capacidad de 42 m³ para complementar su estabilización. Una vez completada la digestión son enviados a la etapa de desaguado de lodos.

3. Problemas a resolver

En la industria papelera se utilizan colorantes para darle la tonalidad respectiva al papel según su tipo. Por ello, el principal problema a resolver es la clarificación de las aguas residuales, ya que estas no deben contener gran cantidad de colorante.

Sin embargo, no solo es el parámetro del color, sino también parámetros fisicoquímicos que son importantes evaluar cómo, sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y demanda química de oxígeno (DQO), ya que si las aguas residuales contienen gran cantidad de estos pueden ser un peligro para la flora y fauna en donde se descargan las aguas residuales.

Estos parámetros son importantes a la hora de realizar un análisis de la calidad del agua ya que la cantidad de estos deben de estar dentro de los límites máximos permisibles que menciona la NOM-001-SEMARNAT-2021, de lo contrario se sancionará a la empresa debido al impacto ambiental que tendrá sobre el Río Papaloapan y sus alrededores.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Encontrar la dosis ideal de coagulante y floculante que ayude a mejorar la clarificación de las aguas residuales de Bio Pappel S.A de C.V.

4.2 Objetivos específicos

- Definir el mejor coagulante y floculante.
- Calcular la predominancia de microorganismos en la laguna de lodos activados.
- Evaluar el impacto del producto químico dosificado a nivel planta en la predominancia de los microorganismos.

5. Justificación

En la industria el tiempo en el que realizan los procesos son muy importantes ya que de esto dependerá la producción que se obtendrá. Una planta de tratamiento de aguas residuales no es la excepción, ya que el objetivo de esta es poder clarificar las aguas residuales, en donde dicha planta recibe miles de litros diariamente, por ello, el coagulante aplicado debe ser eficaz y rápido para poder tratar de eliminar o disminuir la mayoría de los contaminantes que estas contienen y al mismo tiempo asegurar que la descargas a los lugares correspondientes irán dentro de los límites máximos permisibles. (López, 2021)

En una planta de tratamiento de aguas residuales se aplican productos químicos que ayuden a coagular y flocular, esto con el fin de mejorar la clarificación de las aguas residuales.

Previamente es importante realizar pruebas a nivel laboratorio, es por ello que se realiza una prueba de jarras, en donde todos los factores pueden ser controlados para su estudio y así posteriormente hacer la dosificación a nivel planta.

En un proceso aerobio siempre hay que cuidar que los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica estén presentes realizando su función, por lo que es importante evaluar el impacto del coagulante y floculante sobre estos, ya que, si estos tienen un impacto negativo sobre los microorganismos, el proceso no se podrá optimizar, sino más bien se verá perjudicado.

Mejorando el proceso de coagulación se encuentra una manera más eficiente para la clarificación de las aguas residuales de Bio Pappel.

6. Marco teórico

6.1 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es una operación necesaria en cualquier industria, ya que evacúa sólidos, reduce la materia orgánica y contaminantes del agua del proceso industrial.

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es un sistema que el cual da un saneamiento a las aguas residuales de acuerdo a las características de estas según su origen para que puedan ser reutilizadas o depositarlas al medio ambiente sin ocasionar una alteración en éste.

Las PTAR constan de una serie procesos físicos, biológicos y químicos para eliminar los contaminantes, los cuales se explican a continuación:

6.1.1 Tratamientos físicos

Un tratamiento físico es cuando existe una separación por medio de la diferencia entre las propiedades físicas de los contaminantes. Como pueden ser la viscosidad, tamaño de partículas, flotabilidad, etc., en donde se realiza mediante procesos como el tamizado, la precipitación, separación y filtración de sólidos.

6.1.2 Tratamientos biológicos

Tiene como objetivo eliminar los contaminantes coloidales, en donde los microorganismos juegan un papel importante ya que son los encargados de degradar la materia orgánica. Estos procesos poder ser aerobios (en presencia de oxígeno) o anaerobios (en ausencia de oxígeno), algunos de estos son los filtros percoladores, los lodos activos, la biodigestión anaerobia o las lagunas aireadas.

6.1.3 Tratamientos químicos

Son aquellos que dependen de las características químicas del contaminante que se añade al agua, como por ejemplo la eliminación del hierro, la coagulación la eliminación de fosfatos y nitratos, los procesos electroquímicos, la oxidación, etc.

6.2 Etapas del tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se divide en 4 etapas, en la cual cada etapa cumple con ciertos objetivos para que al finalizar todos los tratamientos requeridos el agua cumpla con la normatividad correspondiente. En la siguiente tabla se resume las etapas de una PTAR.

Tabla 1. Niveles de procesamiento de aguas residuales en México (INCYTU, 2019)

Nivel	Procesos	Contaminantes removidos
Primario: asentamiento de sólidos	Sedimentación	Ajusta el pH del agua
	Decantación	Orgánicos e inorgánicos
	Lagunas de estabilización	
Secundario: tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta	Lodos activados	Orgánicos coloidales
	Lagunas aireadas	
	Filtros biológicos	Orgánicos disueltos
	Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA)	
Terciario: microfiltración y desinfección	Desinfección	Orgánicos disueltos
		Iones
		Bacterias
	Filtración química	Virus

6.2.1 Pretratamiento

El pretratamiento tiene por objeto remover, reducir o modificar sólidos gruesos, medios y finos, arenas de cierto tamaño y peso específico, y en ocasiones grasas y aceites presentes en el agua residual, que pueden causar problemas operacionales o incrementar la frecuencia del mantenimiento de los equipos por desgaste o atascamiento. Se logra por medio de operaciones físicas o mecánicas, la mayor cantidad posible de materias que por su naturaleza o tamaño ocasionarían problemas en tratamientos posteriores. Es necesario realizar el pretratamiento para proteger los equipos de tratamiento (principalmente bombas, aireadores, etcétera) y tuberías, con el fin de evitar la entrada de objetos grandes, el desgaste de piezas por abrasión de arenas, dificultades en el tratamiento por grasas y

aceites, y en general para conservar en buenas condiciones el sistema de tratamiento. (CONAGUA, 2015)

6.2.1.1 Área de cribas (Rastrillos)

Estas son instaladas a la entrada del flujo de agua de una PTAR, ya que son rejas de metal que impiden el paso de sólidos suspendidos de gran tamaño, esto como un pretratamiento del agua y también para evitar que estos atasquen las bombas de agua u otros equipos utilizados posteriormente.

Usualmente un sistema de cribado tiene integrado un transportador de sólidos para poder limpiar y cribar de la superficie del agua los sólidos para después ser depositados en una tolva para su disposición final.

6.2.1.2 Separador de partículas sólidas

Su función es hacer que el flujo de agua disminuya, ya que es una cámara de sedimentación en donde las partículas sólidas, arenas y otros sólidos pesados se asientan en el fondo. Una vez que están en el fondo después son arrastradas y secadas para disponer de ellas, normalmente son usadas como relleno sanitario.

Es importante retirar las partículas sólidas del agua residual ya que de no hacerlo estas podrían desgastar la maquinaria utilizada en el proceso, obstruir las tuberías y podrían llegar asentarse al tanque de sedimentación, teniendo como consecuencia que el tanque de sedimentación no tenga un buen funcionamiento afectando a la evacuación de lodos. Otro problema sería si estas partículas llegan a los digestores y tanques de aireación, ya que estarían ocupando cierto volumen, por lo que reduciría la efectividad del sistema.

6.2.1.3 Desarenador

Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Hay varios tipos de desarenadores; tipo Detritus y tipo Remolino. Los más comunes en las plantas de aguas residuales son los desarenadores detritus de flujo vertical. En estos el flujo se efectúa desde la parte inferior hacia arriba. Las partículas se sedimentan mientras el agua sube. Pueden ser de formas muy diferentes: circulares, cuadrados o rectangulares. (BELZONA, 2010)

6.2.2 Tratamiento primario

El principal objetivo de esta etapa eliminar cualquier tipo de sólidos suspendidos en el agua residual, esto se realiza con ayuda de un proceso de sedimentación por gravedad o por precipitación con ayuda de químicos que ayuden a asistirla.

También se incluyen los procesos de flotación, decantación, clarificación, filtración simple y neutralización.

En esta etapa se dosifican productos químicos como coagulantes y floculantes para realizar dichos procesos y mejorar el proceso de clarificación de las aguas residuales.

6.2.2.1 Tanque de sedimentación primaria (Clarificadores)

Un clarificador es un tanque receptor de gran tamaño en forma circular en donde el agua residual reside por varias horas para su tratamiento, regularmente son de concreto o acero.

La finalidad de este es que las partículas de mayor peso por medio del movimiento de un sistema de rastras desciendan al fondo del tanque y los sólidos de menor peso flotarán y se elevarán a la superficie.

Los sólidos que se asientan al fondo son conocidos como lodos primarios o lodos crudos, estos son desechados del tanque por medio de un sistema de bombeo hacia una planta de asimilación de lodos, en cual se les da un tratamiento a los lodos.

El agua que sale del clarificador pasa a un tratamiento secundario o a una sedimentación secundaria.

6.2.3 Tratamiento secundario

Esta etapa tiene como objetivo eliminar la materia orgánica y en estado coloidal en el agua residual, con ayuda de procesos de oxidación.

Este tratamiento ayuda en gran magnitud a limpiar las aguas residuales ya que se remueve gran cantidad de los contaminantes, hasta el 90% de estos. Esto es gracias a la ayuda de procesos aerobios o anaerobios.

Un proceso aerobio es aquel en el cual se requiere presencia de oxígeno para que este pueda funcionar de forma adecuada, por el contrario, un proceso anaerobio es aquel en donde la ausencia del oxígeno es importante para la funcionalidad del sistema.

No solo es incluida la eliminación de materia orgánica en esta etapa, sino también procesos como una sedimentación secundaria, en donde se separa el agua tratada de los lodos biológicos.

6.2.3.1 Aireación

Un sistema de aireación brinda gran cantidad de oxígeno a las aguas residuales, esto con la finalidad de mantener con vida los microorganismos aerobios que favorecen a la degradación de la materia orgánica. Los desechos sólidos se decantan en el fondo del tanque y tiene por nombre lodo activado.

El proceso que sigue después de la aireación es una sedimentación secundaria, en donde los microorganismos tienen más tiempo para digerir la materia orgánica y de esta forma cumplir de manera más eficiente con su función.

La aireación se puede dar en distintas formas, las cuales son explicadas a continuación.

- Aireación dispersada: Este sistema de aireación envía largos flujos de aire con una presión baja dentro de la laguna, de manera que este flujo se ve forzado a ingresar por estructuras perforadas del tipo red sumergibles en las aguas residuales.
- Turbina a motor: Este sistema envía el aire dispersándolo por medio de tubos que van directamente hacia el fondo del tanque debajo de paletas que son impulsadas con un motor el cual hace que se rompan las burbujas haciendo que se mezclen con el agua debido al movimiento
- Esparcidor: El funcionamiento de este sistema es similar al de turbina a motor, sin embargo, los flujos de aire de alta presión inician el movimiento del agua, el cual dispersa el aire de manera circular al fondo del tanque.
- Superficie: Este sistema funciona gracias a un impulsor grande tipo turbina para poder levantar una columna de agua residual desde una columna abierta hacia el fondo del tanque para posteriormente rociar el aire para su aireación natural. Normalmente estos tanques están descubiertos, sin embargo, existen algunos tanques que están cubiertos, en estos el agua es rociada en un espacio de aire sobre la línea del agua que está cargada con oxígeno puro, esto hace que se acelere el proceso de aireación, pero requiere de un elaborado sistema de oxígeno.

6.2.3.2 Sedimentación secundaria (Clarificador secundario)

La sedimentación secundaria se combina con frecuencia con la aireación en un tanque grande o en una poza. La aireación sucede en la parte superior, mientras que la

sedimentación de lodos ocurre en el fondo. Este material es rico en bacteria y de otros microbios útiles que son responsables de la descomposición de los materiales orgánicos y de la formación de flóculos para una evacuación adicional de sólidos, aceites y otros desperdicios.

La etapa de sedimentación secundaria es necesaria para permitir que los flóculos se asienten y que impurezas superficiales adicionales sean retiradas de la superficie antes de salir hacia el efluente claro en donde el contenido orgánico es bajo. (BELZONA, 2010)

6.2.4 Tratamiento terciario

En esta etapa final del tratamiento se realizan procesos para la eliminación de agentes patógenos, como bacterias de origen fecal, aumentando los estándares de calidad requeridos para ser devuelta al ciclo del agua, por descarga al mar, en ríos, lagos, recargas de acuíferos, embalses y demás sistemas hídricos.

Este es el último proceso para que después las aguas residuales sean desembocadas al cuerpo de agua correspondiente, ya que en esta etapa se eliminan aquellos microorganismos infecciosos que presentan un riesgo para la salud, los cuales pueden ser eliminados por distintos métodos; cloración, radiación u ozonización, los cuales se explican a continuación.

- Sistema de cloración: el agua residual permanece en un depósito el cual tiene cierta cantidad de cloro libre con la finalidad de evitar la proliferación de microorganismos y de esta forma pueda ser apta para su reutilización. El funcionamiento de este sistema consta de un depósito exclusivo en donde se añade cierta cantidad de hipoclorito de sodio en donde se requiere de un tiempo de contacto óptimo para que pueda asegurarse la desinfección. Este tratamiento es el más utilizado ya que es muy sencillo de utilizar y es el más económico para la desinfección de las aguas residuales. Sin embargo, como desventaja tiene que, al utilizar un producto químico como el hipoclorito de sodio, algunas plantas son susceptibles a que puedan dañarse por el nivel de cloro libre que contienen las aguas.
- Radiación ultravioleta (luz ultravioleta): este tratamiento utiliza un equipo UV para la desinfección ya que es inmediata y más efectiva que un sistema de cloración. Otra ventaja a diferencia del sistema utilizando cloro es que no necesito de un tiempo de contacto ya que el agua se desinfecta inmediatamente al pasar por el equipo de tratamiento ultravioleta, lo cual es una ventaja ya que no se necesita disponer de

gran espacio a diferencia de un tratamiento con ozono o cloro. Sin embargo, para que este sistema tenga un buen funcionamiento, se necesita un correcto sistema de filtración el cual elimine la turbidez y de esta forma se pueda asegurar una transmisión adecuada de la radiación ultravioleta en el flujo de agua que pase por esta.

- **Ozonización:** El ozono es un poderoso oxidante y desinfectante con una velocidad de esterilización superior a la de un tratamiento convencional de cloro aumentando su eficacia. Esto permite tratamientos con ozono con tanques de contacto muy reducidos ya que únicamente son necesarios unos tres minutos de tiempo de contacto para asegurar la desinfección. Además, para el tratamiento de agua residual para su reutilización en riego y agricultura, el ozono aporta una mayor oxigenación a la raíz de la planta a la vez que le transmite su carácter desinfectante. Los resultados son cultivos con un crecimiento más rápido con mayor productividad y evitando plagas y enfermedades. (Hidritec, 2016)

6.3 Pruebas de control del proceso en una PTAR

En una planta de tratamiento de aguas residuales es necesario realizar pruebas de control del proceso, esto con la finalidad de poder monitorear la calidad del agua para cuidar que los parámetros evaluados no rebasen los límites máximos permisibles (LMP) que indique la norma correspondiente. Las normas por las que se rige una PTAR son de acuerdo con las características del agua residual y de los procesos que precedan a la sedimentación primaria.

Generalmente en la planta se debe contar con un laboratorio para el análisis de las aguas residuales, en el cual se realizan las pruebas de control de procesos, los cuales incluyen los siguientes parámetros.

6.3.1 pH

El pH es un parámetro que puede indicar una alerta, ya que un aumento o disminución de esta indica que hay algo inusual. Las lecturas de un pH menor a 5.5 unidades de pH indican que pueden convertirse en sépticas. Un valor bajo de pH permite que las grasas y aceites no puedan ser removidas y queden en suspensión, lo cual puede tener un impacto negativo en los procesos posteriores al tratamiento primario.

6.3.2 Grasas y aceites

Las grasas y aceite deben ser removidas en el tratamiento primario, ya que de no ser así los procesos después a esta no serán adecuados, por ello es importante considerar un sedimentador primario, de otra forma también podrían ser eliminados desde el pretratamiento. Los LMP para grasas y aceites de agua doméstica está entre 50 y 100 mg/L, en cambio para las aguas residuales comerciales e industriales pueden presentar valores mayores a 150 mg/L.

6.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Este parámetro es necesario para conocer la concentración de materia orgánica presente en las aguas residuales, de esta forma se puede deducir la efectividad del tratamiento secundario ya que es en donde se trata de disminuir la cantidad de materia orgánica disuelta en las aguas residuales.

6.3.4 Sólidos suspendidos y sedimentables

Por medio de este parámetro se puede deducir la eficiencia de remoción del sedimentador primario, ya que indica la cantidad de sólidos de un punto de muestreo y a su vez indica el cómo llega al siguiente proceso, así como también ayuda a determinar la cantidad de lodos a bombear para que el proceso no sea deficiente.

6.3.5 Sólidos suspendidos totales y volátiles

Esto es útil para conocer la concentración y cantidad de sólidos presentes en las aguas residuales del tratamiento primario.

6.3.6 Sólidos de los lodos totales y volátiles

Proporcionan información sobre la carga de sólidos para digestores o unidades de deshidratación. Permite al operador cambiar con precisión las tasas de extracción de lodos, los volúmenes de eliminación correctas, y determinar si el exceso de agua se bombea a los digestores o unidades de deshidratación. (CONAGUA, 2015)

Tabla 2. Frecuencia de muestreo recomendada (CONAGUA, 2015)

Frecuencia de muestreo recomendada		
Prueba	Ubicación	Frecuencia
Ph	Afluente	Diario
	Efluentes	
Sólidos suspendidos y sedimentables	Muestra compuesta afluente	Diario
	Muestra compuesta efluente	
Demanda bioquímica de oxígeno	Muestra compuesta afluente	Diario
	Muestra compuesta de efluentes	
Lodos sólidos totales y volátiles	Lodos de salida	Diario
Aguas residuales totales y volátiles	Muestra compuesta afluente	Semanal
	Muestra compuesta de efluentes	
Grasas y aceites	Afluente	Mensual

6.4 Aguas residuales en la industria papelera

Una de las industrias más contaminantes es la papelera, debido a que sus aguas residuales contienen grandes cantidades de aditivos necesarios para la fabricación del papel como antiespumantes, agentes blanqueantes, biocidas para evitar cultivos microbianos, entre otros, por lo cual las aguas residuales presentan gran cantidad de contaminantes, sólidos suspendidos, turbidez, etc.

Todos estos contaminantes presentan un gran riesgo, ya que si se descargan estas aguas residuales al cuerpo de agua más cercano presentaría un gran riesgo para el ecosistema generando así un gran problema ambiental, por ello es importante tratar las aguas residuales, para así eliminar la gran carga de contaminantes que estas presentan.

En una PTAR de la industria papelera es muy importante reducir los niveles de DQO, sólidos suspendidos totales, turbidez y color, ya que estas aguas generalmente son descargadas al cuerpo de agua más cercano.

Una técnica muy utilizada para ayudar a la clarificación de las aguas residuales es la adición de coagulantes y floculantes en el tratamiento primario, ya que esto ayuda a que las partículas suspendidas en el agua residual se aglomeren y al mismo tiempo estas se sedimenten al fondo del sedimentador primario, teniendo así un agua más clarificada y disminuyendo el valor de ciertos parámetros fisicoquímicos.

6.5 Coagulación

La coagulación es el proceso de formación de pequeñas partículas adherentes mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de las impurezas coloidales. Desde el punto de vista electrostático, el propósito de la coagulación es reducir el potencial zeta por adición de iones específicos e inducir la desestabilización de las partículas para aglomerarlas. La coagulación es el tratamiento más eficaz para la eliminación de impurezas en el agua. (CONTYQUIM, 2022)

Se le denomina coagulación a la formación de pequeñas partículas mediante la aplicación de una energía de mezclado, la cual desestabiliza las partículas coloidales que están cargadas negativamente, de esta forma se forman flóculos de un mayor tamaño por lo que son más fáciles de remover. Este material con aspecto esponjoso ayuda en el proceso de clarificación de las aguas residuales, ya que atrapa todas las partículas pequeñas de la superficie. Esto se debe a dos fenómenos; fenómeno físico y químico.

- Fenómeno físico: se da cuando el transporte de especies hidrolizadas hace contacto con las impurezas que contienen las aguas residuales.
- Fenómeno químico: ocurre cuando reacciona el coagulante con el agua y se forman las especies hidrolizadas con carga positiva, esto dependerá de la concentración del coagulante y el pH final.

Este proceso se lleva a cabo mediante una agitación lenta, en donde las partículas chocan entre sí para aglomerarse y formar coloides de mayor tamaño llamados flóculos, los cuales son necesarios para las etapas de floculación, sedimentación y filtración.

Si se quiere optimizar el proceso de coagulación, debe tenerse en cuenta 3 factores; pH, velocidad de agitación y el tipo de coagulante. EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Para cada electrolito existe un margen de trabajo, fuera del cual se desaprovecha el producto y disminuye el rendimiento del proceso. Para la corrección de los márgenes de trabajo, es posible la adición de coadyuvantes, como cal viva o apagada, carbonato sódico, sosa cáustica o ácidos minerales. Por otro lado, la agitación de la mezcla permitirá una distribución homogénea de los reactivos antes de que comience a formarse el coágulo. Teniendo en cuenta que el tiempo de coagulación es muy corto, esta mezcla debe realizarse en el menor tiempo posible mediante la aplicación de agitación mecánica. (CEUPE, 2019)

La dosis de coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de sedimentación y es imposible realizar una buena clarificación si la cantidad de coagulante no es la adecuada. Es un parámetro crítico dado que si se adiciona por debajo de la cantidad requerida, no se neutralizan totalmente las cargas de las partículas, la formación de flóculos disminuye y la turbiedad del agua tratada es elevada, por otro lado, si se adiciona exceso de coagulante, se produce la inversión de las cargas de las partículas y la formación de gran cantidad de flóculos con tamaños muy pequeños y velocidades de sedimentación muy bajas y la turbiedad del agua tratada es elevada. (CONTYQUIM, 2022)

6.6 Floculación

La floculación es el proceso que sigue después de la coagulación, debido a que al añadir el agente floculante se neutralizan las cargas de las partículas coloidales mediante una agitación lenta, ya que esto asegura que no se rompan los flóculos formados, sino simplemente para que el floculante pueda mezclarse con el agua y coagulante.

Una vez que los sólidos suspendidos comiencen a unirse se formarán grupos más grandes de aspecto esponjoso, los cuales al juntarse contienen cierto peso que al final por medio de gravedad se sedimentan al fondo.

El objetivo de este proceso es que los flóculos puedan tener un estado en el que se puedan filtrar de una manera más fácil, ya que el mezclado permite que las partículas coloidales se agrupen en gran cantidad.

El beneficio final de una floculación eficiente es un tiempo de detención reducido del agua residual en el clarificador (o tanque específico de floculación). Cualquier reducción en este tiempo permite una mayor capacidad general de la planta. (BELZONA, 2010)

6.7 Prueba de jarras

Una prueba de jarras es un método en el que se evalúan distintas cantidades de coagulantes y floculantes, así como los tiempos en los que estos actúan en muestras de agua cruda.

La cantidad de coagulante y floculante, así como el tipo, se debe a las condiciones del proceso, ya que el agua cruda presenta ciertas características las cuales con algunos productos pueden o no tener un buen resultado.

La prueba o test de jarras es la técnica más usada para verificar la eficiencia de coagulantes se deben aplicar entre otros parámetros. Estas pruebas se realizan a nivel laboratorio, en el cual se simulan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación para posteriormente replicarlo a escala real.

En cada jarra se añaden diferentes dosis del coagulante y floculante en donde para el primero se hace una agitación rápida y al añadir el segundo se cambia a una agitación lenta para posteriormente dejarlo sedimentar y realizar un análisis del agua en cada jarra. En este proceso influyen diferentes factores como:

1. pH
2. Temperatura
3. Concentración del coagulante
4. Velocidad de agitación
5. Tiempo de sedimentación

6.7.1 Condiciones

Debido a que la prueba de jarras es una simulación del proceso, es necesario mantener lo más controladas posibles las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de estos.

6.7.1.1 Mezcla rápida

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

6.7.1.2 Mezcla lenta

La mezcla lenta tiene como finalidad que las partículas coloidales se aglomeren para que después puedan sedimentarse y tener un agua más clarificada. Si se deja por mucho tiempo ocurre un calentamiento de la muestra, por lo que la floculación se vuelve más eficiente, sin embargo, la sedimentación será muy pobre por que se liberan los gases disueltos en el agua, haciendo que se formen burbujas y se adhieran en los flóculos, los cuales flotarán.

6.7.1.3 Preparación del polímero y dosificación

Las soluciones químicas deben ser recién preparadas, ya que mientras algunas soluciones químicas se benefician con el tiempo, la mayoría se deterioran.

La adición de químicos debe ser en el mismo orden para todas las jarras, normalmente primero se añade el coagulante, floculante y en algunas ocasiones ajustadores de pH.

Se debe cuidar que la dosificación de los químicos no demore tanto, debe ser simultáneo ya que las condiciones de la prueba deben ser iguales, y al no hacerlo se estarían alterando.

6.7.1.4 Muestra

Las muestras para las pruebas deben ser lo más representativa del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas, debido a la inestabilidad de la suspensión coloidal; por lo que no se recomienda correr pruebas de jarras con más de dos horas de captadas. (Acosta, 2006)

6.7.2 Criterios para la evaluación

Para evaluar los resultados de una prueba de jarras no se siguen criterios convencionales o patrones universales y casi se trata de un criterio particular del analista, fabricante del equipo, operario de la planta de acuerdo con su larga experiencia, etc., ya que se da mediante la observación o el tiempo, siempre y cuando se tenga la certeza de trabajar en las mismas condiciones experimentales y bajo los mismos criterios analíticos. No obstante, en la práctica se observan ciertos lineamientos a seguir para evaluar una prueba de jarra, como son:

- Características de los flóculos: Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o microflóculos.
- Calidad del sobrenadante: La claridad o transparencia, es el criterio más importante en la evaluación de una prueba de jarras, ya que es lo que se persigue en la clarificación del agua. Para ello la mayoría de las plantas disponen de turbidímetros. Se debe observar si el sobrenadante es totalmente transparente, semiturbio, turbio, con apreciable cantidad de material suspendido (SST), decantado, semidecantado, entre otros.
- Velocidad de sedimentación de los flóculos: Se puede tomar el tiempo que toman los flóculos para sedimentar, una vez que se detiene la agitación en el equipo. Se

deben observar parámetros como: sedimentación violenta, rápida, lenta, casi nula, difusa, baja sedimentación.

Todo lo anterior se recoge en una observación visual cualitativa del proceso de clarificación, que recibe el nombre de nota de floculación o índice de Willcomb, de la siguiente forma. (Acosta, 2006)

Tabla 3. Determinación del índice de Willcomb. (Lorenzo Acosta, 2006)

Índice	Descripción
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible. Muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Floc bien formado, pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Floc de tamaño relativamente claro. Precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando cristalina el agua.

6.8 Microbiología de lodos activados

El sistema de lodos activados está basado en la utilización de microorganismos, los cuales utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta como alimento para llevar a cabo todas sus funciones metabólicas, como crecimiento y reproducción. Estas son removidas por sedimentación ya que la gravedad específica de la biomasa es ligeramente mayor que la del agua.

La eliminación de DBO, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de materia orgánica sucede gracias a la actividad microbiana de los distintos microorganismos que residen dentro del sistema de lodos activados, los cuales se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y material celular (biomasa).

Para tener un sistema de lodos activados efectivo, es necesario considerar lo siguiente:

- a) La necesidad nutricional de los microorganismos
- b) Los aspectos ambientales que afectan el crecimiento microbiano
- c) El metabolismo de los microorganismos
- d) La relación del crecimiento biológico y la utilización del sustrato

En el sistema de lodos activados se destacan dos tipos de microorganismos; procariotes y eucariotes.

Los microorganismos procariotes (eubacterias y arqueobacterias) suelen denominarse simplemente bacterias, y son primordiales en el tratamiento biológico.

Los microorganismos eucariotes engloban a las plantas, animales y las protistas, sin embargo, en un sistema de lodos activados los más importantes son:

- Hongos
- Protozoos y rotíferos
- Algas

El tratamiento de aguas residuales por medio de laguna de lodos activados es un proceso biológico, debido a que la cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales es utilizada como alimento para los microorganismos que residen en el reactor biológico, de tal manera que estos lo necesitan para obtener la energía necesaria para reproducirse y así hagan sus funciones para que la materia orgánica pueda ser transformada en otros productos que pueden separarse de una manera más sencilla del agua tratada.

La clasificación de los procesos biológicos está basada en la forma en que los microorganismos utilizan el oxígeno. Los procesos aerobios son aquellos en donde los microorganismos pueden vivir en presencia de oxígeno, mientras que los procesos anaerobios son en ausencia de oxígeno.

Un tanque de licor mezclado es aquel en donde se mezcla las aguas residuales con la recirculación de lodos activados del tratamiento biológico, por lo cual en este se pueden encontrar microorganismos que ayudan a degradar la carga orgánica del agua residual. Entre los microorganismos que podemos encontrar son los siguientes:

- a) Bacterias bioindicadoras
- b) Protozoarios
 - Amoebas
 - Suctorias
 - Ciliados libres
 - Ciliados fijos
 - Ciliados reptantes
 - Rotíferos

c) Microalgas

- Cianofíceas/Cyanophyta
- Clorofíceas/Chlorophyta
- Criptofíceas/Cryptophyta
- Crisofíceas/Cryptophyta
- Diatomeas/Diatoms
- Dinofíceas/Dinophyta
- Euglenofíceas/Euglenophyta
- Xantofíceas/Xantophyta

(Moeller & Tomasini, 2018)

6.9 Crecimiento bacteriano

El crecimiento bacteriano se da mediante la reproducción de las bacterias por fisión binaria, es decir, la célula original se convierte en dos organismos nuevos y así sucesivamente hasta tener una población. El tiempo requerido para cada división es llamado tiempo de generación o duplicación, este varía desde 20 minutos hasta días. Sin embargo, no solo el tiempo influye en el crecimiento bacteriano, sino también aspectos ambientales.

Los aspectos ambientales favorecen o limitan el crecimiento bacteriano debido a distintos factores como la disponibilidad del sustrato, concentración de nutrientes o también el tamaño del sistema.

Dentro de las formas de expresar el crecimiento bacteriano se encuentran dos, la primera en términos de números, y la segunda de acuerdo a la masa bacteriana de un cultivo puro, así como en cultivos mixtos.

6.9.1 Crecimiento en términos de número de bacterias

Generalmente el crecimiento de bacterias en un cultivo discontinuo se debe inocular en un volumen fijo de medio de cultivo una cantidad representativa de microorganismos, en donde se registrará una función del tiempo en base al número de viables. Este tipo de crecimiento consta de cuatro fases.

- Fase de latencia: esta comienza desde el momento en que se inocula en el medio de cultivo y representa el tiempo que requieren los microorganismos para adaptarse al nuevo ambiente y de esta forma empezar a dividirse.

- Fase exponencial: en esta fase las células se dividen a una tasa determinada en función del tiempo de generación y en base a la habilidad que tienen para procesar el alimento.
- Fase estacionaria: la población se encuentra de forma estacionaria debido a que las células agotan los nutrientes que requieren para su crecimiento y también se compensa el número de células nuevas con el número de células muertas.
- Fase de muerte exponencial: esta fase se presenta cuando la tasa de mortalidad es mayor que la producción de nuevas células. La tasa de mortalidad es una función inversa de la fase de crecimiento exponencial.

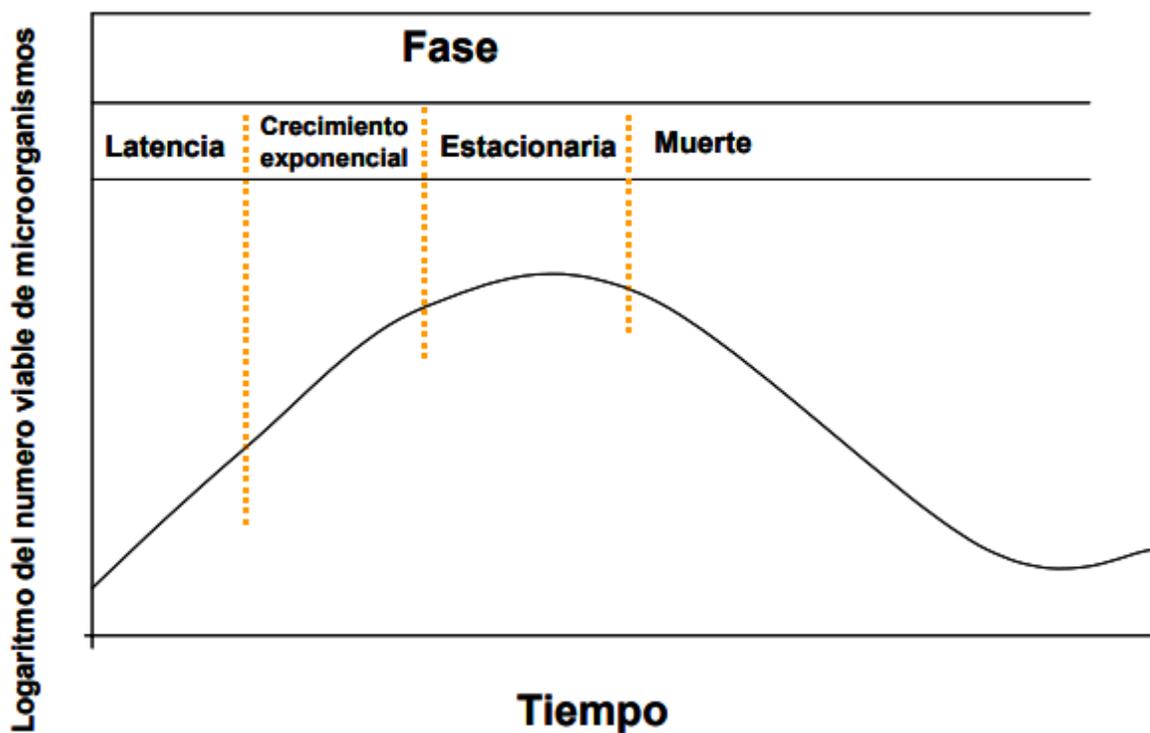


Ilustración 3. Curva de crecimiento bacteriano en términos del número de bacterias viables. (Moeller & Tomasini, 2018)

6.9.2 Crecimiento en términos de masa bacteriana

Este tipo de crecimiento también está dividido en 4 fases, las cuales se describen a continuación.

- Fase de latencia: es la etapa donde las bacterias se adaptan al ambiente. Esta fase de latencia no es tan larga como en términos de números de microorganismos ya que la masa incrementa después de comience la división celular.

- Fase de crecimiento exponencial: en esta fase existe un exceso de sustrato que rodea a los microorganismos, por lo que la velocidad del metabolismo y el crecimiento es una función de la habilidad de los microorganismos para procesar el alimento.
- Fase de declinación: en esta fase la velocidad de crecimiento de masa bacteriana va disminuyendo debido a que el alimento va terminando.
- Fase endógena: en esta última fase los microorganismos metabolizan su protoplasma sin que haya reemplazo, ya que no hay suficiente alimento disponible. En esta fase puede ocurrir el fenómeno de lisis, en donde los nutrientes que tienen las células muertas se esparcen hacia el exterior para generar alimento a las células vivas que aún existen.

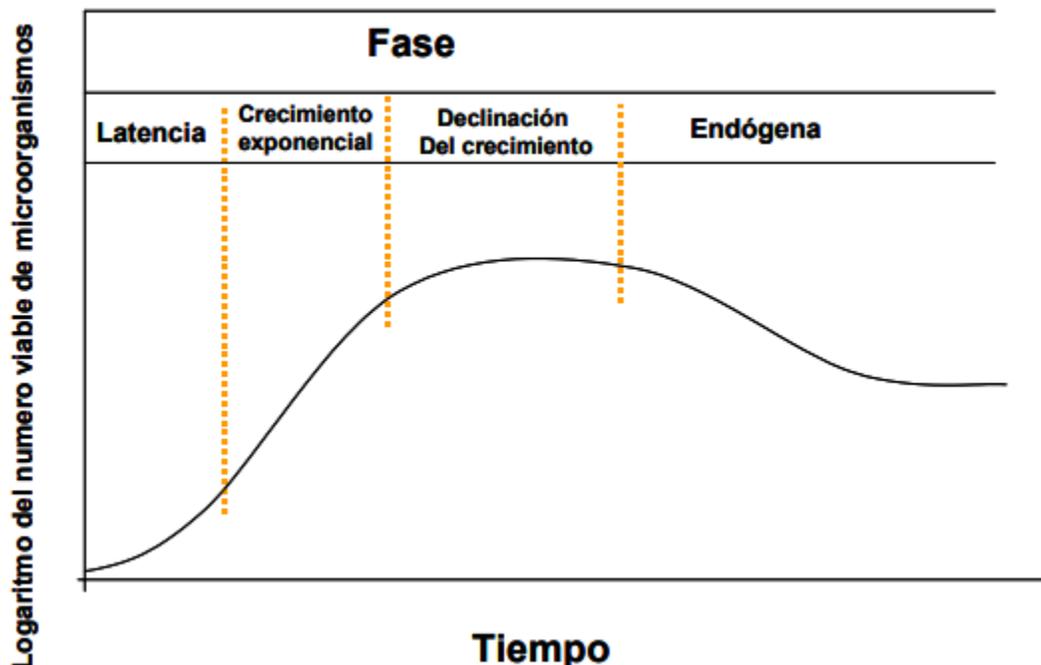


Ilustración 4. Curva de crecimiento bacteriano en términos de masa bacteriana. (Moeller & Tomasini, 2018)

6.9.3 Crecimiento en cultivos mixtos

Los tratamientos biológicos están compuestos de poblaciones mixtas de microorganismos, ya que cada uno juega un papel importante para la degradación de la materia orgánica, en donde cada tipo de microorganismo tiene su propia curva de crecimiento. Esta curva consta de los microorganismos viables respecto al tiempo, en donde dependerá de la disponibilidad de nutrientes, factores ambientales y del tipo de sistema, es decir, si se cuenta con sistema aerobio o anaerobio.

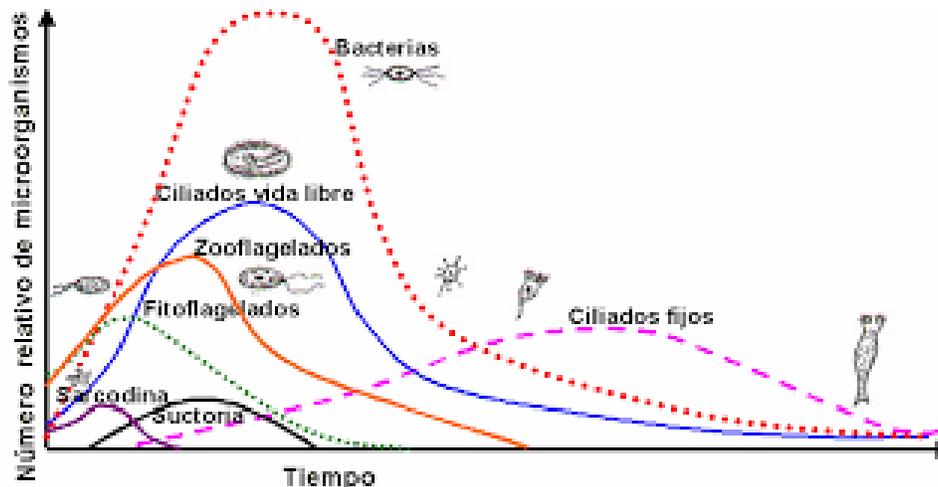


Ilustración 5. Gráfica de predominancia de microorganismos mixtos. (Moeller & Tomasini, 2018)

6.9.4 Bacterias

Según Moeller y Tomasini, existen más de 300 especies reportadas que han sido aisladas del licor mezclado, por lo cual son los constituyentes más abundantes en un tratamiento biológico.

Las bacterias son las responsables de la oxidación de la materia orgánica y de la transformación de los nutrientes, producen polisacáridos y materiales poliméricos que ayudan en la floculación de la biomasa microbiana. (Moeller & Tomasini, 2018).

A continuación, se mencionan los principales géneros de bacterias en un tratamiento biológico.

- Zooglea
- Pseudomonas
- Flavobacterium
- Alcaligenes
- Bacillus
- Achromobacter
- Corynebacterium
- Comomonas
- Brevibacterium
- Acineto bacter
- Organismos filamentosos (*Sphaerotilus*, *Beggiatoa*)
- Bacterias autotróficas nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*)

- Bacterias sulfurosas fototróficas (*Rhodospirillaceae*)

6.9.5 Hongos

En algunas ocasiones se observan crecimientos de filamentos hongales, aunque por lo general esto no sucede debido a que las condiciones de un sistema de lodos activados no favorecen el crecimiento de hongos. Cuando se da un crecimiento fungal sucede debido a las condiciones de pH bajo, toxicidad y efluentes con poco nitrógeno. Los géneros que pueden encontrarse se mencionan a continuación.

- Geotrichium
- Penicillium
- Ceohalosporium
- Cladosporium
- Alternaria

6.9.6 Protozoarios

Estos son pertenecientes al reino Protista, los cuales son depredadores de bacterias. A continuación, se explican los principales grupos de protozoarios.

6.9.6.1 Ciliados

Estos se alimentan por medio de los cilios y también por medio de estos se mueven en el agua residual. Estos se clasifican en tres tipos; libres, trepadores y anclados.

- Ciliados libres: *Chilodonella*, *Colpidium*, *Blepharisma*, *Euplotes*, *Paramecium*, *Leonotus*, *Trachelophylum*, *Spirostomum*
- Ciliados trepadores: *Aspidisca*, *Euplotes*
- Ciliados anclados: *Vorticella*, *Corchesium*, *Opercularia*, *Epystilis*

6.9.6.2 Flagelados

Estos se mueven mediante uno o varios flagelos. Algunos flagelados que se pueden encontrar son:

- Bodo
- Pleuromonas
- Monosiga

6.9.6.3 Rhizopoda o Amiboidea

Estos se mueven por medio de pseudópodos o falsos pies. Algunos que se pueden encontrar son:

- Amoeba
- Thecamoeba

6.9.7 Rotíferos

Son organismos multicelulares los cuales miden entre 100 y 500 micras. Su función es remover las bacterias que están suspendidas las cuales no están floculadas y así poder ayudar a que se genere la formación de flóculos. Algunos que están presentes son:

- Bdelloidea (*Philodina* y *Habrotocha*)
- Monogononta (*Lecane* y *Notomata*)

7. Procedimiento y descripción de las actividades a realizar

7.1 Metodología

7.1.1 Preparación del coagulante

1. Medir 500 ml de agua desmineralizada.
2. Agregar un imán a un vaso de precipitado de 1000 ml.
3. Pesar 0.5 gramos del coagulante a evaluar (NALKAT 7607, AC 1220 o STARCOAG) en un vaso de precipitado de 100 ml.
4. Añadir un volumen de agua desmineralizada al vaso de precipitado que contiene el coagulante y agitar para disolverlo ya que es líquido.
5. Vaciar el volumen del vaso de pp de 100 ml en el vaso de pp de 1000 ml hasta que no quede coagulante y agregar el resto del agua desmineralizada al vaso de pp de 1000 ml.
6. Colocar el vaso de pp de 1000 ml en el agitador magnético y agitar por 15 min.

7.1.2 Preparación del floculante

1. Medir 500 ml de agua desmineralizada.
2. Agregar un imán a un vaso de precipitado de 1000 ml.
3. Pesar 0.5 gramos del coagulante a evaluar (NALCO 3249 o STARCOAG) en un vidrio de reloj.
4. Colocar el vaso de precipitado en el agitador magnético y encender este.
5. Añadir poco a poco el coagulante para evitar que se formen grumos.
6. Agitar hasta que no quede ningún grumo en la mezcla.

7.1.3 Prueba de jarras

1. Con ayuda de un vaso de plástico de 1000 ml mover la muestra para que esté uniforme.
2. Medir 500 ml de agua residual en una probeta y vaciar en un vaso de precipitado de 1000 ml. Se repite esto hasta llenar los 4 vasos restantes.
3. Encender el equipo de prueba de jarras y colocar los vasos de precipitado.
4. Medir el volumen de las distintas dosis del coagulante y añadir cada una al vaso correspondiente.
5. Programar el equipo a 100 rpm durante 5 minutos e iniciar la agitación rápida.
6. Medir el volumen de las distintas dosis del floculante.
7. Una vez terminado el tiempo de agitación rápida, añadir las distintas dosis de floculante a cada vaso respectivamente.
8. Programar el equipo a 50 rpm durante 1 minuto e iniciar la agitación lenta.
9. Esperar el tiempo de sedimentación, observar las muestras y hacer anotaciones de las características que presenta cada unidad experimental.
10. Tomar una alícuota del agua clarificada de cada unidad experimental en un vaso de precipitado de 100 ml para medir los parámetros fisicoquímicos correspondientes.

7.1.4 Análisis de parámetros fisicoquímicos

Sólidos suspendidos totales (SST)

1. Encender el colorímetro y se selecciona el programa de SST.
2. Agregar agua desmineralizada a la celda de 10 ml hasta el aforo.
3. Con ayuda de una toallita, limpiar la celda cuidando que no queden huellas marcadas en esta.
4. Introducir la celda al colorímetro y se ajusta el cero.
5. Vaciar la muestra en un vaso de plástico de 1000 ml.
6. Agregar 10 ml del agua clarificada hasta el aforo de la celda.
7. Agitar la celda vigilando que no queden sólidos en el fondo de la celda.
8. Limpiar con una toallita la celda cuidando que no queden huellas marcadas en esta.
9. Introducir la celda al colorímetro y leer el resultado.
10. Vaciar la muestra en el vaso de plástico de 1000 ml.
11. Enjuagar la celda con agua desmineralizada y repetir desde el paso 6 para todas las muestras.

Turbidez

1. Encender el colorímetro y seleccionar el programa de turbidez.
2. Agregar agua desmineralizada a la celda de 10 ml hasta el aforo.
3. Con ayuda de una toallita, limpiar la celda cuidando que no queden huellas marcadas en esta.
4. Introducir la celda al colorímetro y ajustar el cero.
5. Vaciar la muestra en un vaso de plástico de 1000 ml.
6. Agregar 10 ml del agua clarificada hasta el aforo de la celda.
7. Agitar la celda vigilando que no queden sólidos en el fondo de la celda.
8. Limpiar con una toallita la celda cuidando que no queden huellas marcadas en esta.
9. Introducir la celda al colorímetro y leer el resultado.
10. Vaciar la muestra en el vaso de plástico de 1000 ml.
11. Enjuagar la celda con agua desmineralizada y repetir desde el paso 6 para todas las muestras.

Color verdadero

1. Encender el colorímetro y seleccionar el programa de color verdadero 420 nm.
2. Agregar agua desmineralizada a la celda de 10 ml hasta el aforo.
3. Con ayuda de una toallita, limpiar la celda cuidando que no queden huellas marcadas en esta.
4. Introducir la celda al colorímetro y ajustar el cero.
5. Vaciar la muestra en un vaso de plástico de 1000 ml.
6. Con una jeringa, tomar 1 ml del agua clarificada, agregar en la celda y aforar hasta los 10 ml con agua desmineralizada.
7. Agitar suavemente la celda para que se mezcle bien el agua clarificada con el agua desmineralizada.
8. Limpiar con una toallita la celda cuidando que no queden huellas marcadas en esta.
9. Introducir la celda al colorímetro y leer el resultado.
10. Vaciar la muestra en el vaso de plástico de 1000 ml.
11. Enjuagar la celda con agua desmineralizada y repetir desde el paso 6 para todas las muestras.

DQO

1. Programar el digestor a un tiempo de 2 horas y una temperatura de 150°C.

2. Con una pipeta de 5 ml, tomar 2 ml del agua clarificada y añadir al vial de DQO. Hacer para cada unidad experimental.
3. Agitar los viales e introducir al digestor.
4. Al término de las 2 horas, sacar los viales y dejar enfriar de 10 a 20 minutos.
5. Encender el espectrofotómetro, seleccionar el programa de DQO de rango alto e introducir un vial de rango alto para ajustar el cero.
6. Introducir el primer vial a evaluar y leer el resultado. Repetir este paso hasta leer todos los resultados de las unidades experimentales.

SST por gravimetría

1. Meter los filtros de microfibras de vidrio de 47 mm a la estufa durante 30 min.
2. Con un guante, sacar los filtros de la estufa con mucho cuidado y pesar.
3. En una probeta, medir 40 ml del agua clarificada a evaluar.
4. Colocar el filtro en el equipo de filtrado y verter el volumen medido.
5. Retirar el filtro hasta que toda el agua se haya filtrado y este se encuentre seco. Repetir desde el paso 3 para cada unidad experimental.
6. Meter los filtros nuevamente a la estufa durante 2 horas.
7. Con ayuda de un guante, sacar de la estufa los filtros y se pesan.
8. Una vez teniendo ambos pesos, calcular los SST por gravimetría mediante la siguiente fórmula:

$$SST \text{ por gravimetría} = \frac{P_2 - P_1}{Volumen} (1000000)$$

Color por longitud de onda

1. Meter los filtros de microfibras a la estufa durante 30 min.
2. Sacar los filtros y pesar.
3. Del agua clarificada, tomar 40 ml y filtrar.
4. El agua filtrada es recuperada.
5. Aforar una celda de 10 ml con agua desmineralizada e introducir al espectrofotómetro a la longitud deseada para ajustar el cero.
6. Aforar una celda de 10 ml con el agua filtrada e introducir al espectrofotómetro.
7. Leer el resultado y hacer a distintas longitudes de onda para cada unidad experimental.

7.1.5 Observaciones de microorganismos

1. Tomar las muestras en diferentes 5 puntos de muestreo en la laguna y 1 en el paso del RAS (Recirculación de lodos activados). A continuación, se presenta de manera gráfica los distintos puntos de muestreo de la laguna.

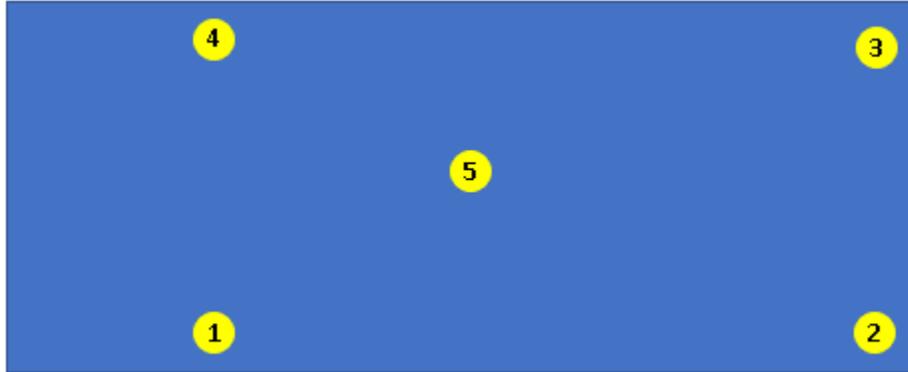


Ilustración 6. Puntos de muestreo en la laguna de lodos activados.

2. Limpiar los portaobjetos y cubreobjetos con alcohol etílico y una toallita.
3. Poner sobre el portaobjeto 0.05 ml de la muestra y colocar encima el cubreobjeto.
4. Encender el microscopio y poner la muestra.
5. Una vez teniendo la muestra en el microscopio comienza la observación, en donde se identifican los microorganismos con ayuda del manual de microbiología con el que cuenta Bio Pappel (Anexo 4) contando cada uno de los distintos microorganismos identificados.

7.2.5.1 Cálculo para el conteo de microorganismos

1. El volumen a colocar en el portaobjetos es conocido, el cual es 0.05 ml, en donde se encuentran cierto número de microorganismos, por lo cual mediante una regla de tres se obtiene el número de microorganismos en 1 ml mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Microorganismos en 1 ml} = \frac{(1 \text{ ml})(\# \text{ microorganismos en la muestra})}{0.05 \text{ ml}}$$

2. Una vez que se tiene el número de microorganismos en 1 ml, se extrapolan los datos al volumen de la laguna, el cual es 12,452 m³, para esto primero se debe tener en cuenta la siguiente conversión.

$$1 \text{ ml} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

3. Para calcular el número de microorganismos en la laguna es mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Microorganismos en la laguna} = \frac{(12,452 \text{ m}^3)(\# \text{ microorganismos en la muestra})}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

8. Resultados y discusiones

Las pruebas de jarras se realizaron en las distintas producciones de papel que realiza Bio Pappel S.A de C.V. las cuales son:

- Premium
- Grocery
- Medium
- Liner

Utilizando los siguientes productos químicos para dichas pruebas con las combinaciones mencionadas en la siguiente tabla.

Tabla 4. Uso de coagulantes y floculantes.

Coagulantes	Floculantes
NALKAT 7607	NALCO 3249
AC 1220	
Starcoag	Starfloc

Se realizaron en total 36 pruebas de jarras, de las cuales se escogieron las 3 mejores que presentaron los mejores resultados en cada tipo de producción. De esta forma se analizarán los resultados para así deducir la mejor dosis del producto químico para dosificar según el tipo de producción.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de jarras y la interpretación de los resultados gráficamente en términos de porcentaje de remoción de cada parámetro fisicoquímico para conocer la eficiencia de las dosis evaluadas.

Las observaciones de las pruebas de jarras se hicieron en base a la tabla 3 que indica el índice de Willcomb.

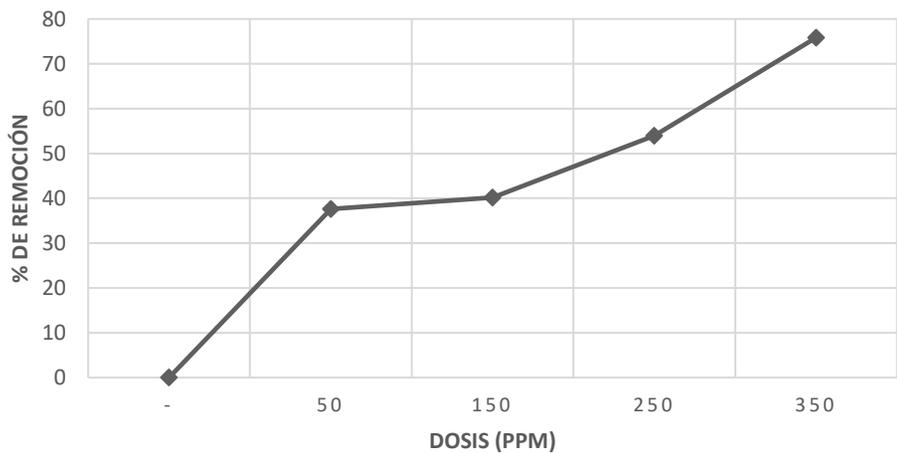
Los resultados son contrastados con los Límites Máximos Permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Premium

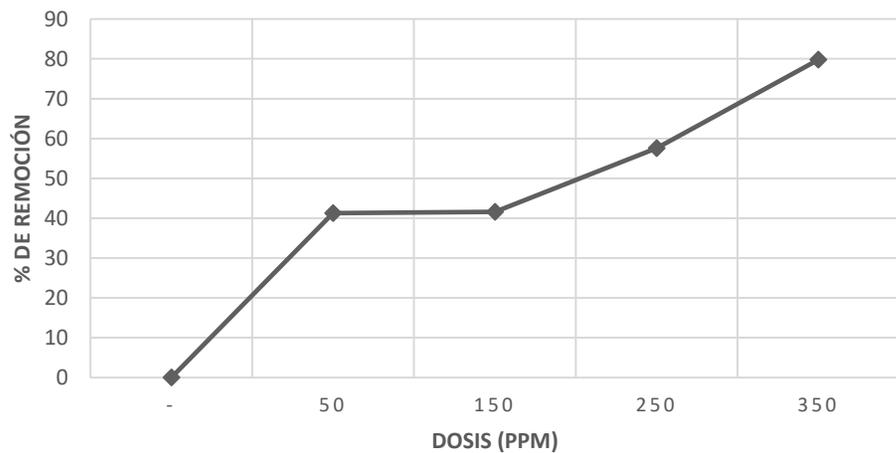
NALKAT 7607

No. De muestra	NALKAT 7607 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	356	351	140	3200	36.22	26.34	21.85	1640	Floc coloidal
1	50	0.5	222	206	100	1340	22.05	16.18	12.52	1162	Visible
2	150	1	213	205	80	1180	10.71	7.28	5.35	1147	Disperso
3	250	1.5	164	149	30	900	9.37	6.18	4.37	1101	Claro
4	350	1.5	86	71	20	600	4.41	6.06	4.17	1031	Bueno

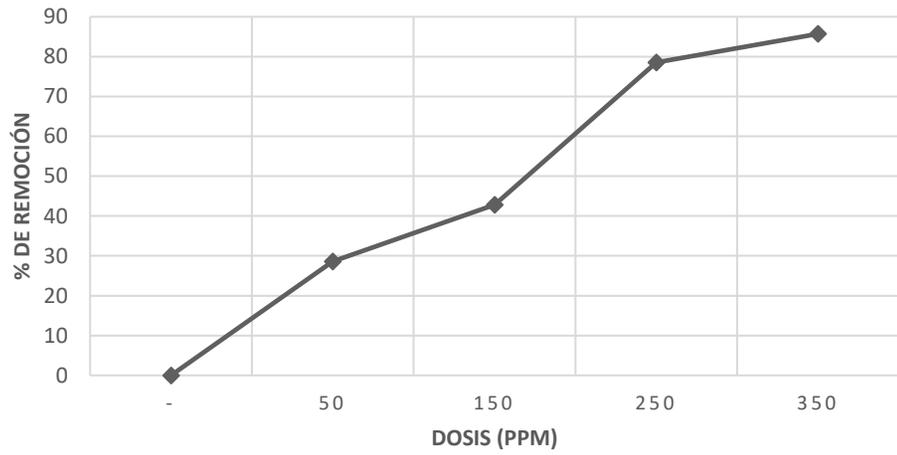
TURBIDEZ



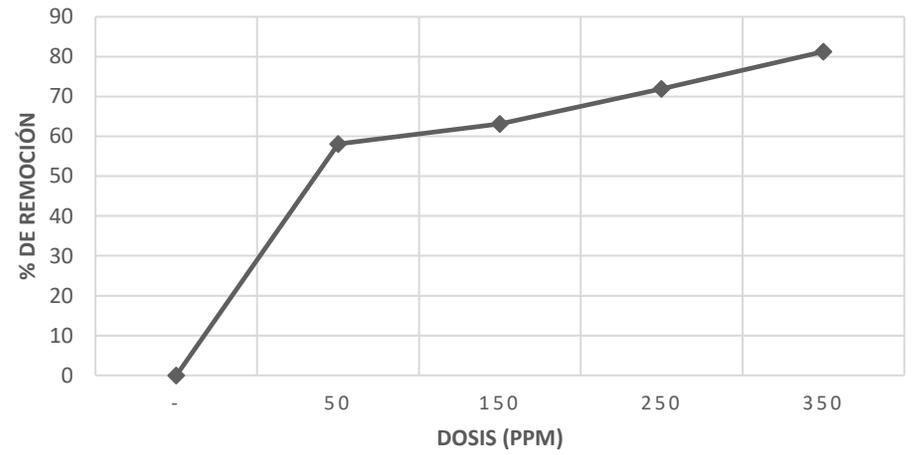
SST



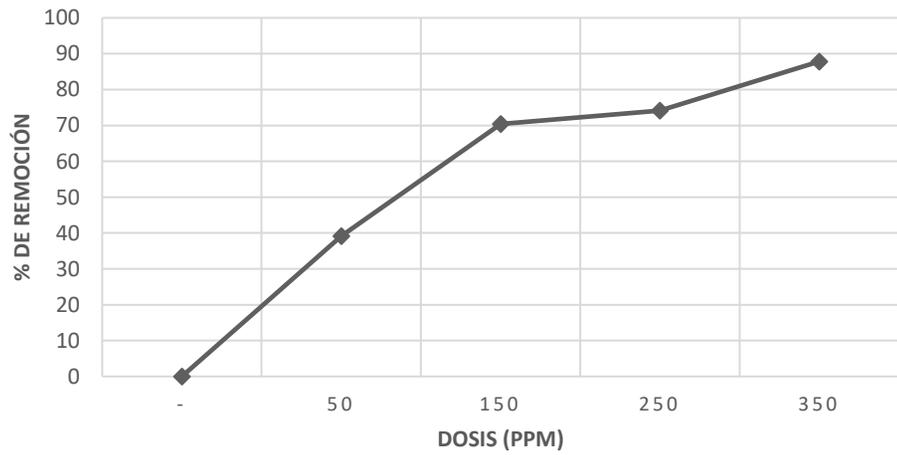
SST (GRAVIMÉTRICO)



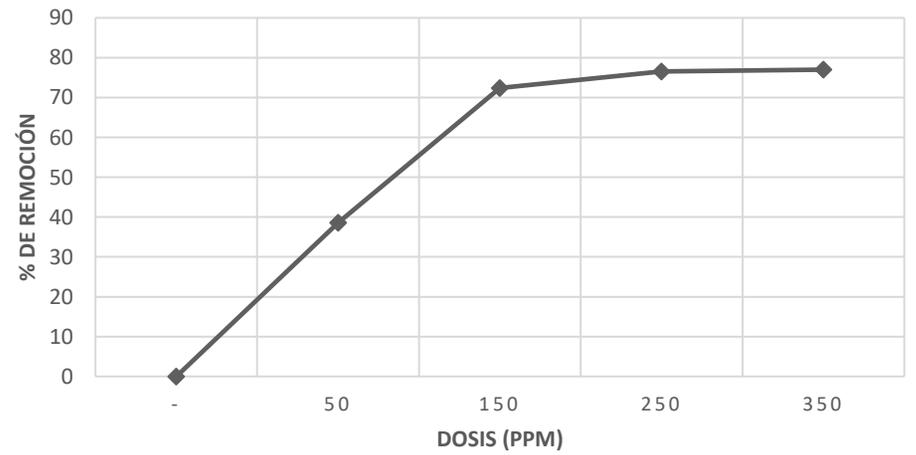
COLOR VERDADERO



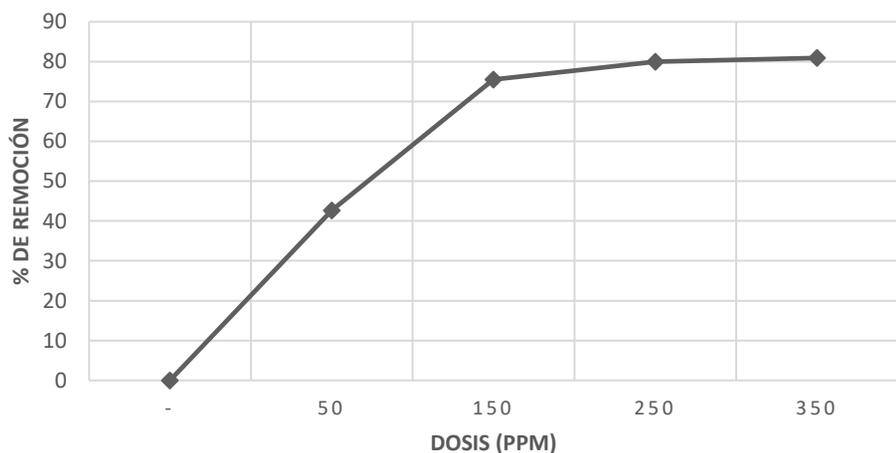
COLOR VERDADERO (436 NM)



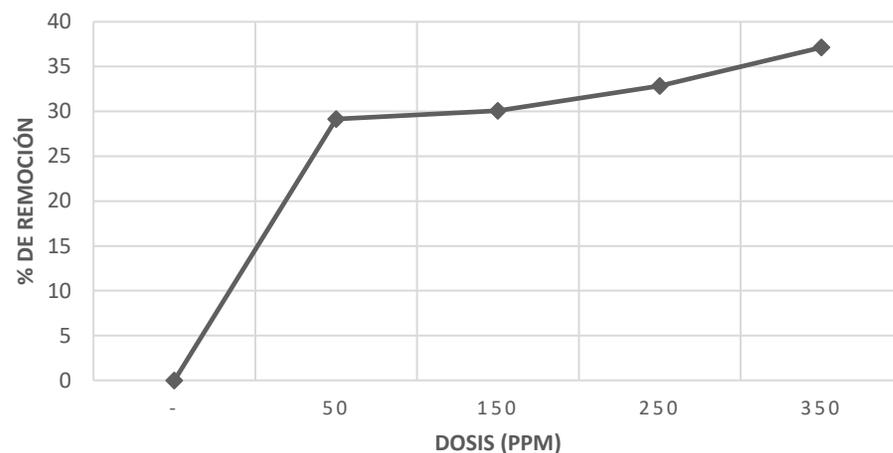
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)



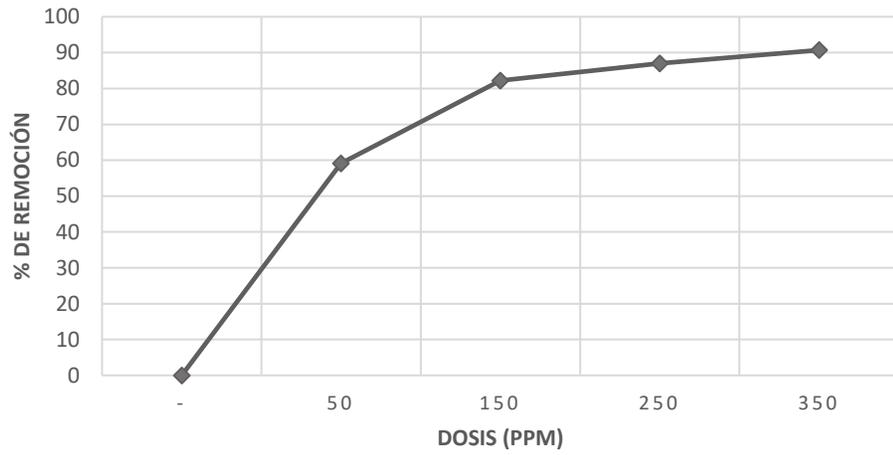
DQO



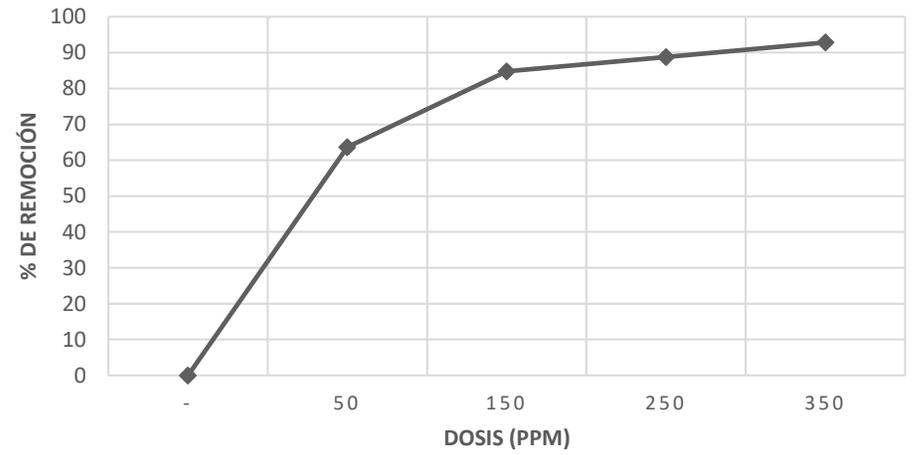
AC 1220

No. De muestra	AC 1220 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	355	349	150	3220	18.39	13.86	8.5	1628	Floc coloidal
1	50	0.5	145	127	60	920	14.76	12.13	7.32	1468	Floc coloidal
2	150	1	63	53	50	330	13.86	9.92	7.09	1186	Visible
3	250	1.5	46	39	30	240	5.2	2.64	2.2	1025	Disperso
4	350	1.5	33	25	10	140	2.72	1.61	1.1	863	Claro

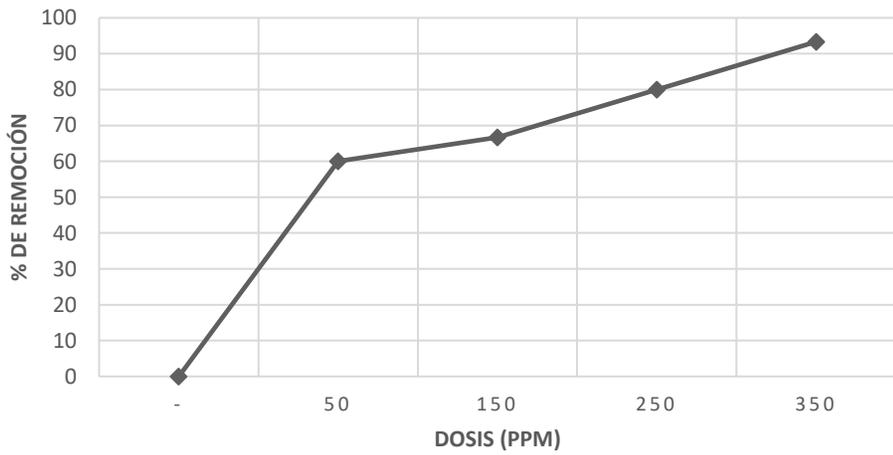
TURBIDEZ



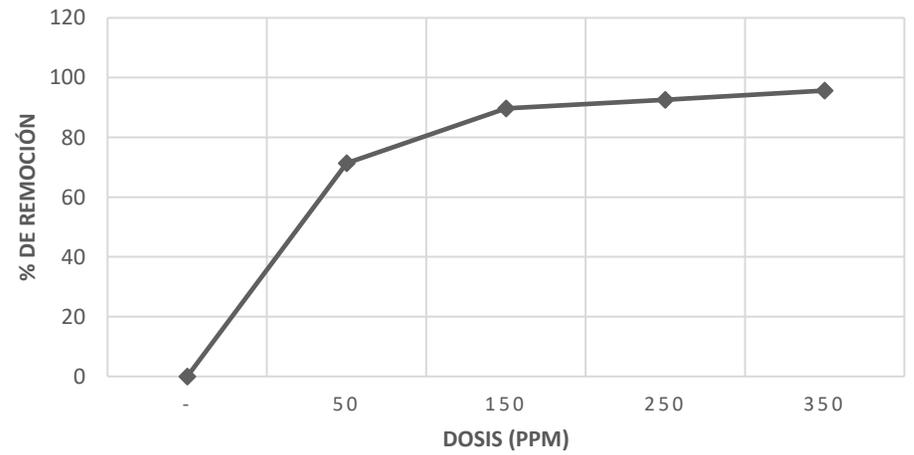
SST



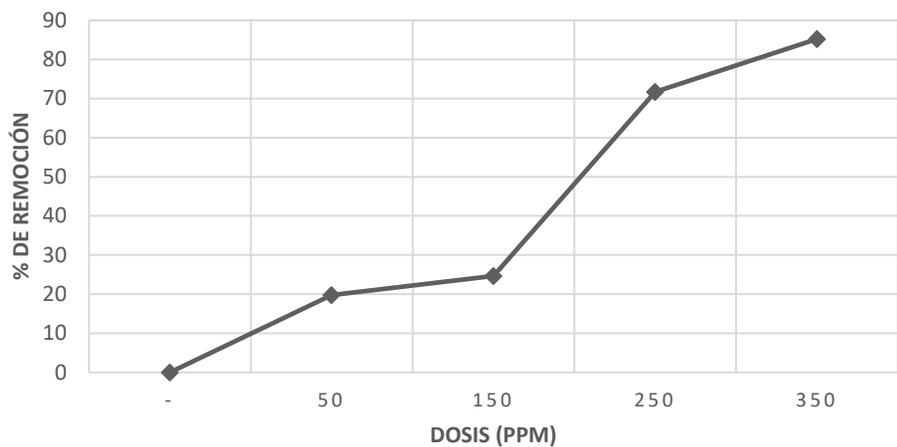
SST (GRAVIMÉTRICO)



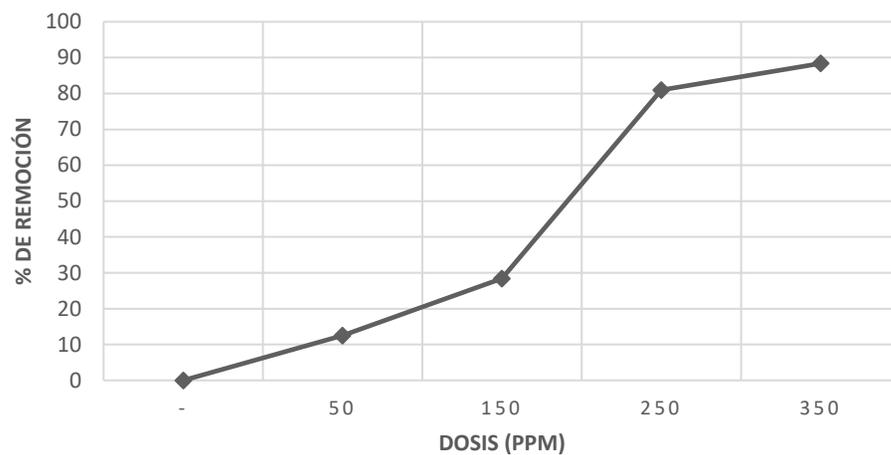
COLOR VERDADERO



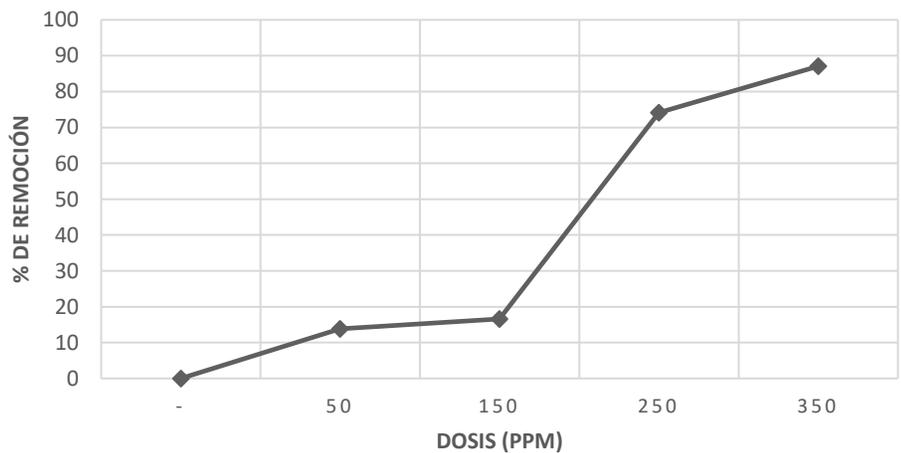
COLOR VERDADERO (436 NM)



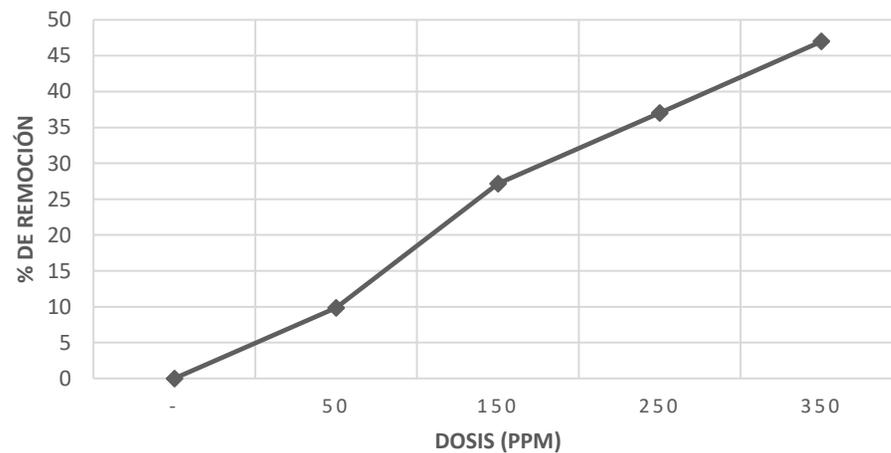
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)

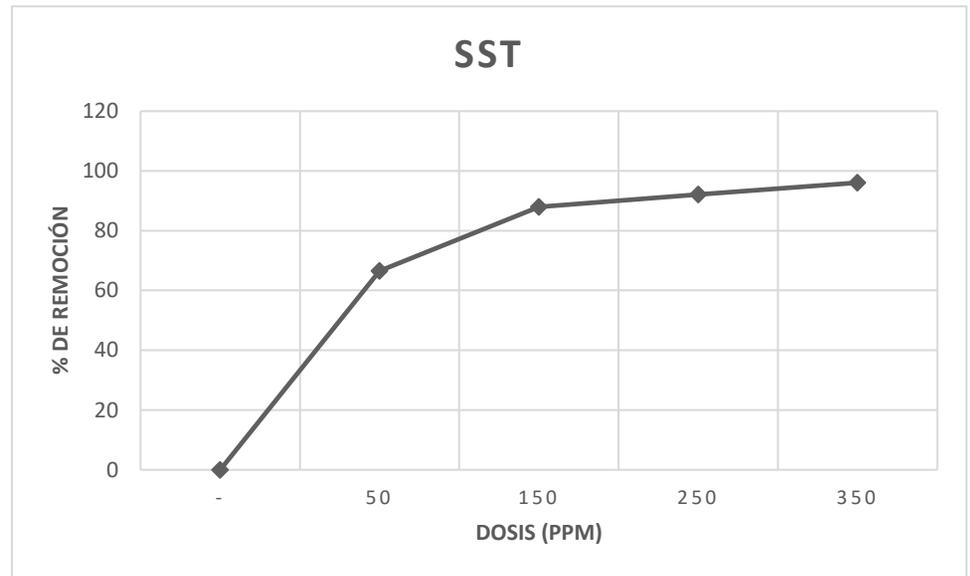
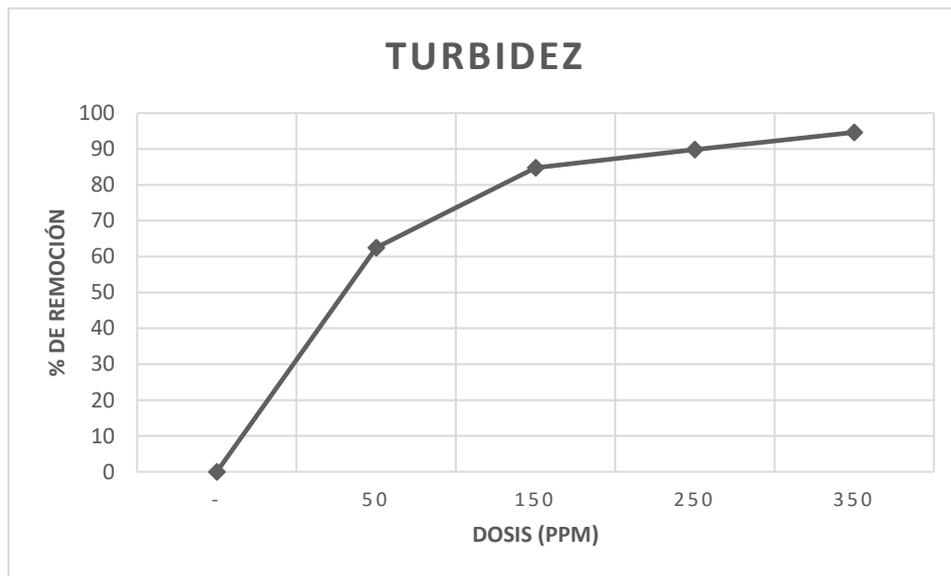


DQO

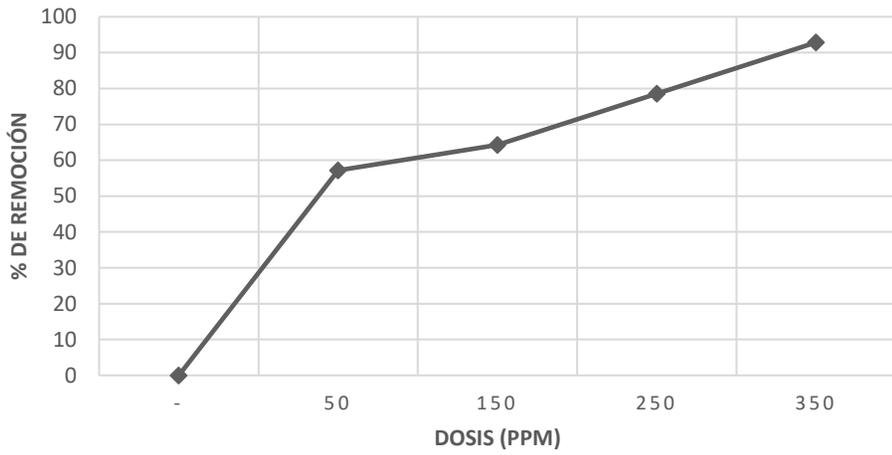


STARCOAG

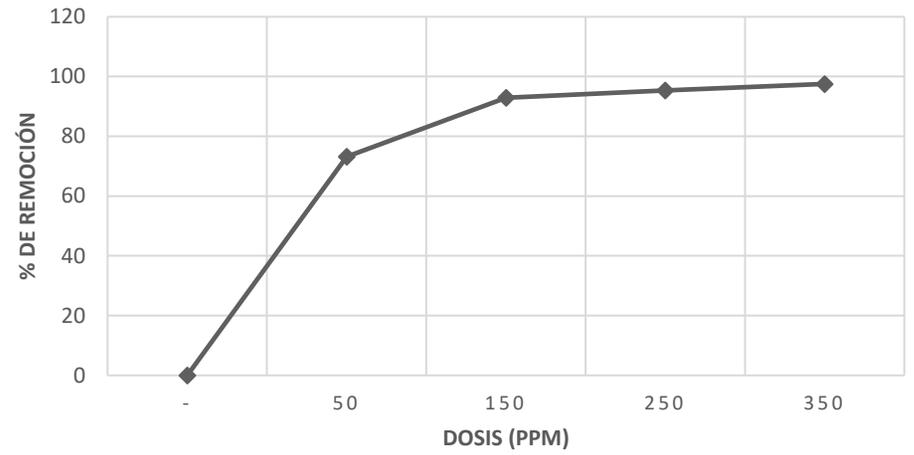
No. De muestra	Starcoag Catiónico	Starfloc Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	355	356	140	3240	18.2	13.4	8.18	1613	Floc coloidal
1	50	0.5	133	119	60	870	13.86	9.43	6.93	1257	Disperso
2	150	1	54	43	50	230	7.56	6.48	6.41	1035	Visible
3	250	1.5	36	28	30	150	3.9	3.92	1.18	906	Bueno
4	350	1.5	19	14	10	80	1.85	1.32	0.78	743	Excelente



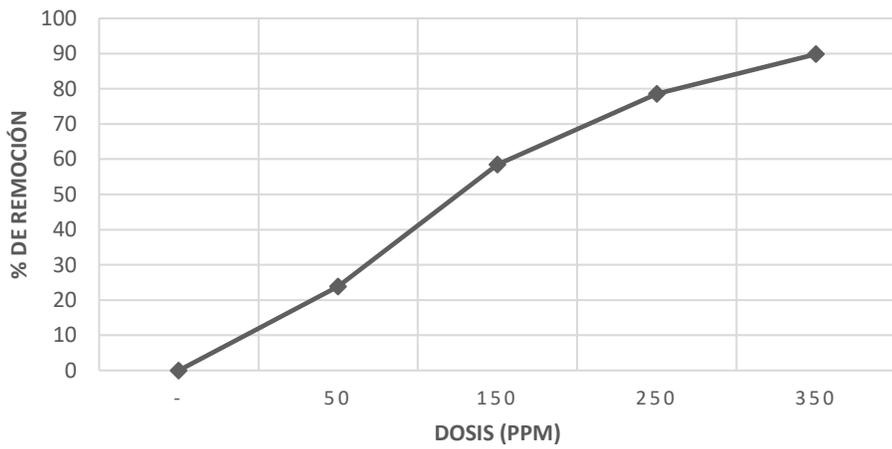
SST (GRAVIMÉTRICO)



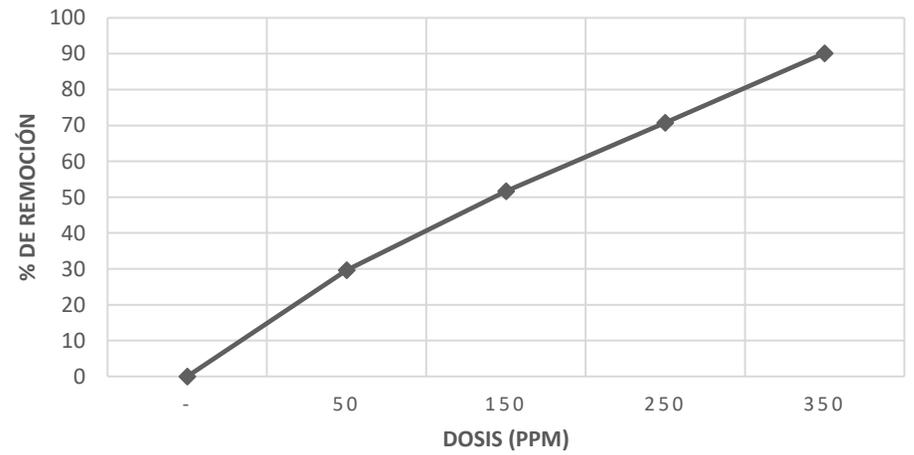
COLOR VERDADERO

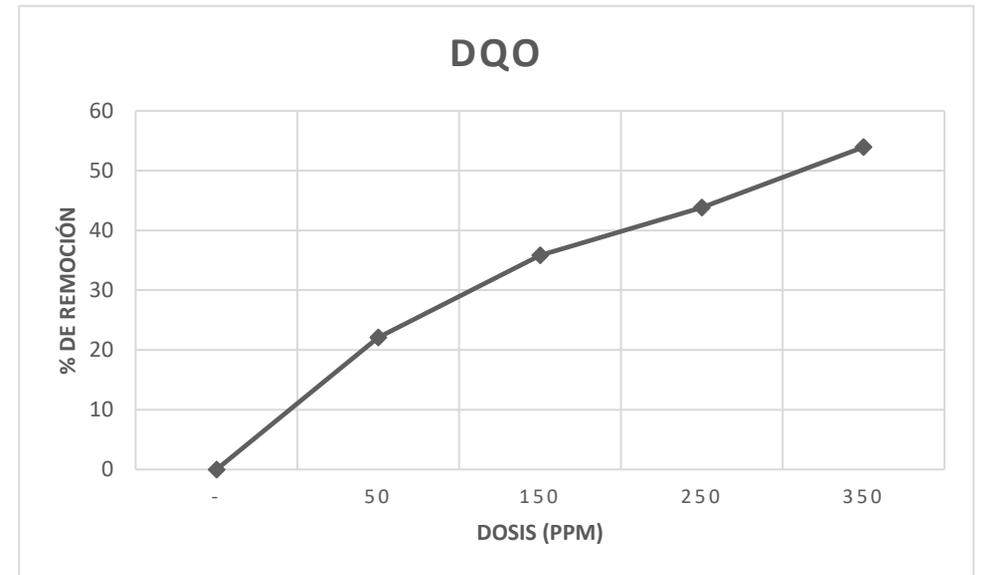
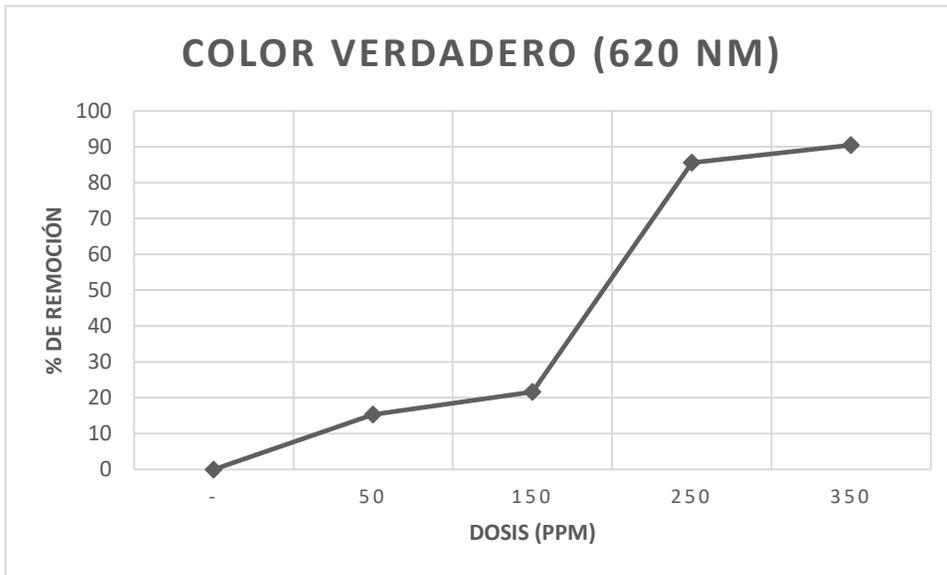


COLOR VERDADERO (436 NM)



COLOR VERDADERO (525 NM)





De acuerdo con los resultados presentados se encontraron las mejores dosis de cada producto:

- **NALKAT 7607: Muestra 4;** Catiónico: 350 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

Se escoge la muestra 4, ya que visualmente el floc se ve mejor que el resto, y en cuanto a los parámetros fisicoquímicos hay una variación positiva en comparación con las demás muestras.

- **AC 1220: Muestra 3;** Catiónico: 250 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

Visualmente no hay gran variación entre el floc de la muestra 3 y 4, los parámetros fisicoquímicos no varían en gran medida, por lo cual en cuanto a costos es más conveniente usar menos cantidad si se tienen resultados similares.

- **Starcoag: Muestra 3;** Catiónico: 250 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

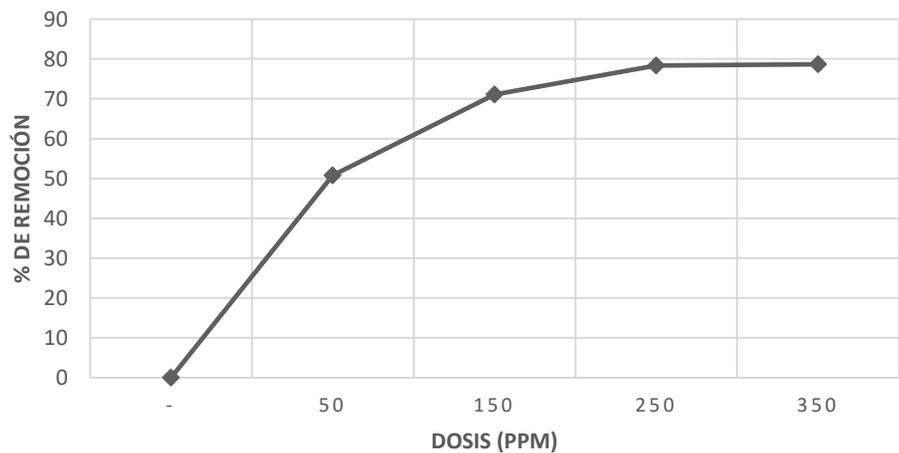
Entre el floc de la muestra 3 y 4 no se observa gran diferencia, así mismo los parámetros fisicoquímicos entre ambas muestras no cambian en gran medida, por lo que en cuanto a costos es mejor, ya que se usa menos cantidad.

Grocery

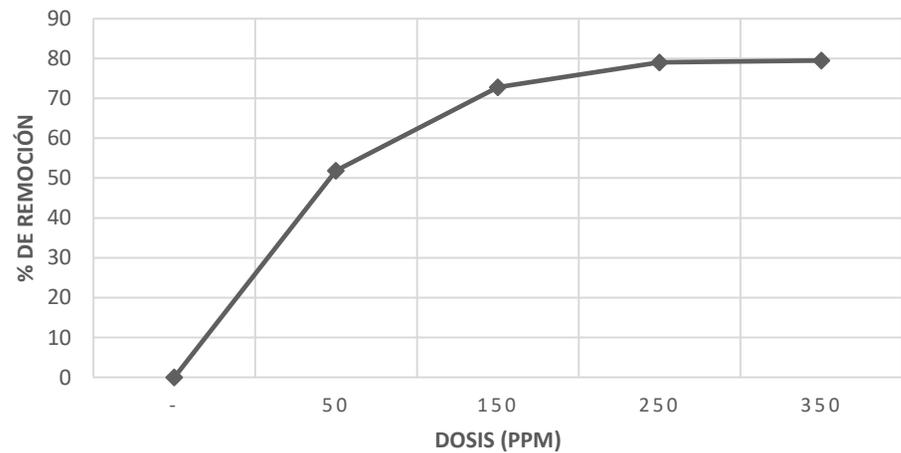
NALKAT 7607

No. De muestra	NALKAT 7607 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	370	239	170	2960	29.49	19.09	13.9	2127	Floc coloidal
1	50	0.5	182	115	150	2370	23.94	15.35	11.02	1803	Disperso
2	150	1	107	65	90	1170	11.46	6.65	4.8	1486	Claro
3	250	1.5	80	50	50	1020	8.62	5.47	4.09	1283	Claro
4	350	1.5	79	49	40	940	7.83	4.49	3.23	1107	Bueno

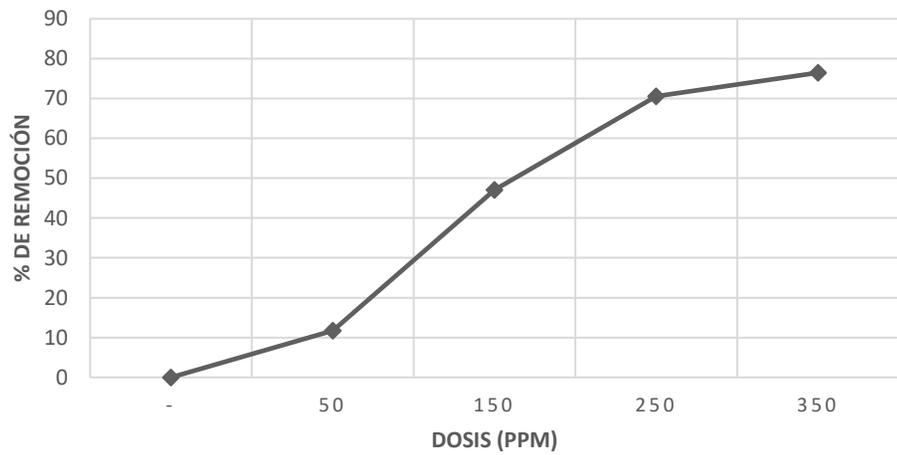
TURBIDEZ



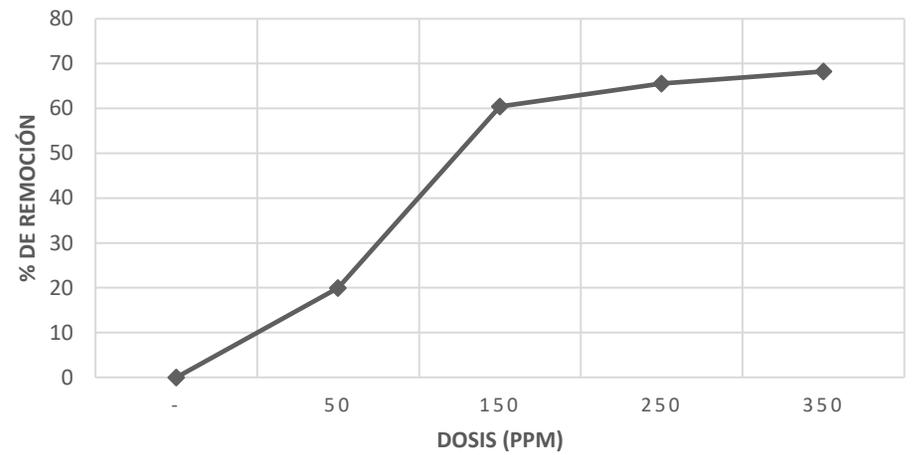
SST



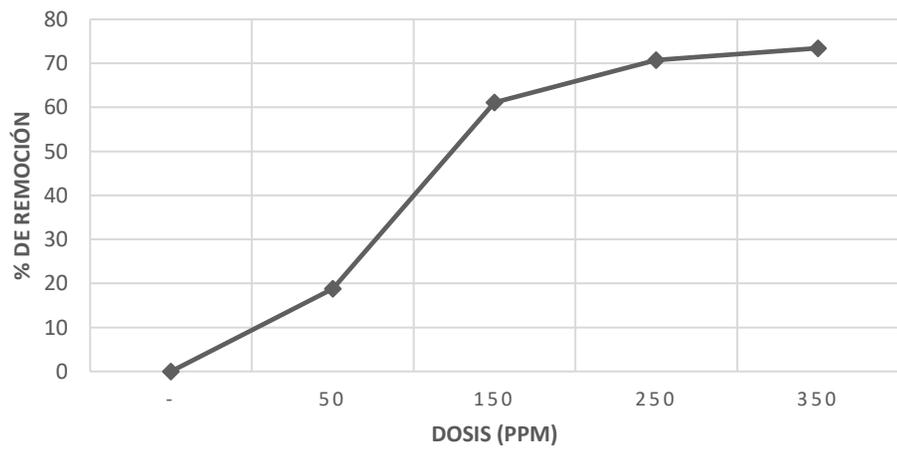
SST (GRAVIMÉTRICO)



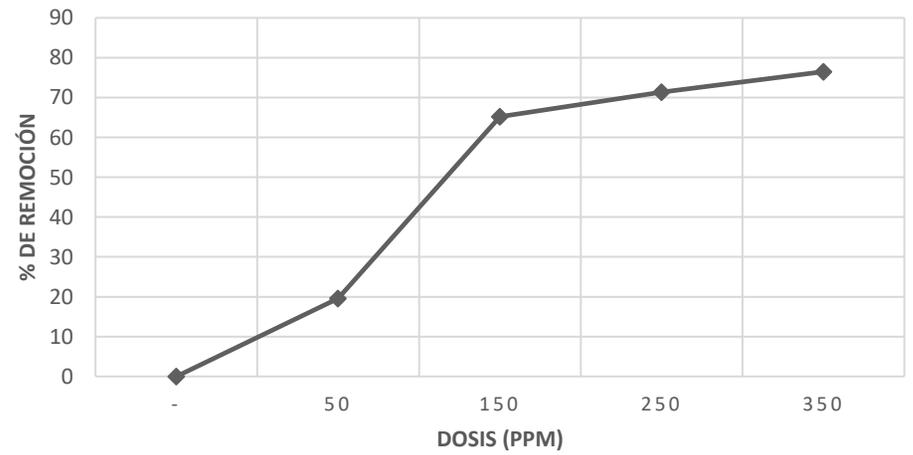
COLOR VERDADERO



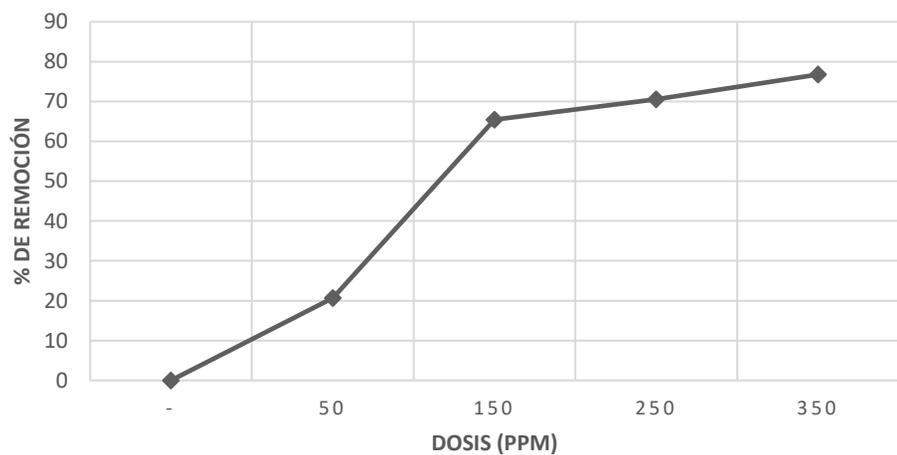
COLOR VERDADERO (436 NM)



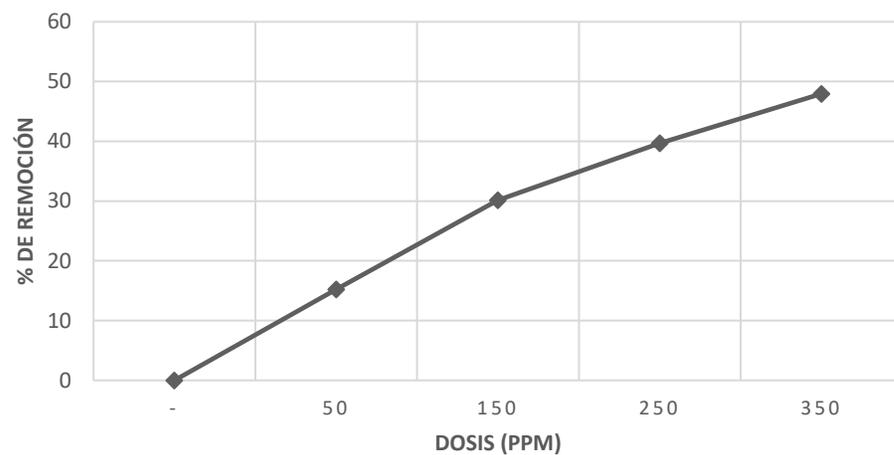
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)



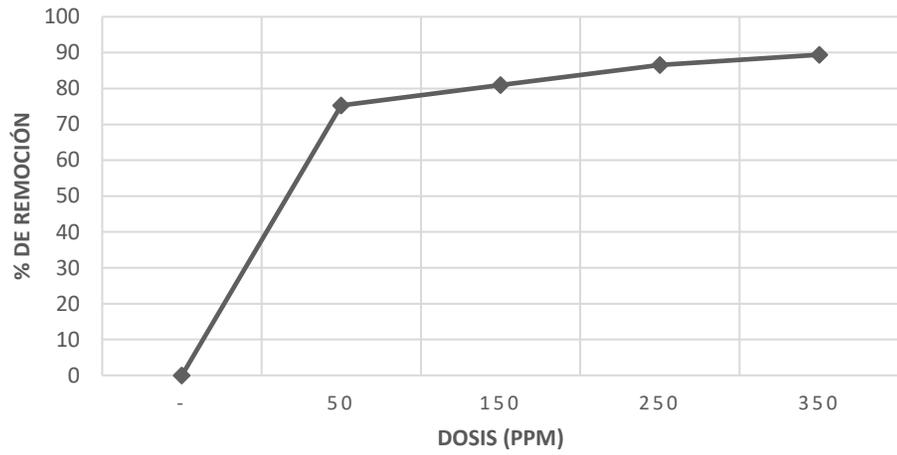
DQO



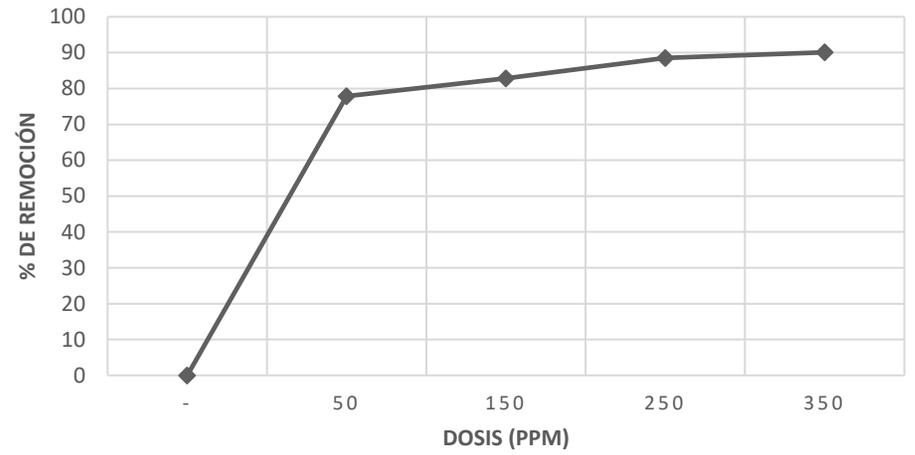
STARCOAG

No. De muestra	Starcoag Catiónico PPM	Starfloc Aniónico PPM	Turbidez FAU	SST mg/L	SST (Gravimétrico) mg/L	Color verdadero mg/L	Color verdadero			DQO mg/L	Observaciones
							7.0 m ⁻¹ 436 nm	5.0 m ⁻¹ 525 nm	3.0 m ⁻¹ 620 nm		
Blanco	-	-	709	686	290	4860	33.74	21.5	15.24	2118	Floc coloidal
1	50	0.5	175	152	120	1240	27.13	17.48	12.44	1946	Disperso
2	150	1	135	118	90	1060	12.52	7.87	5.71	1290	Claro
3	250	1.5	95	79	40	650	10.79	6.73	4.8	1207	Bueno
4	350	1.5	75	68	30	420	9.92	5.59	3.86	1082	Bueno

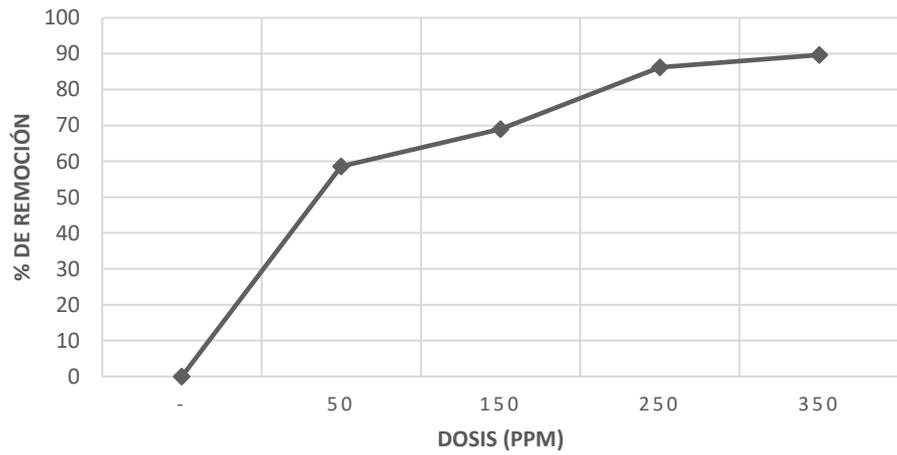
TURBIDEZ



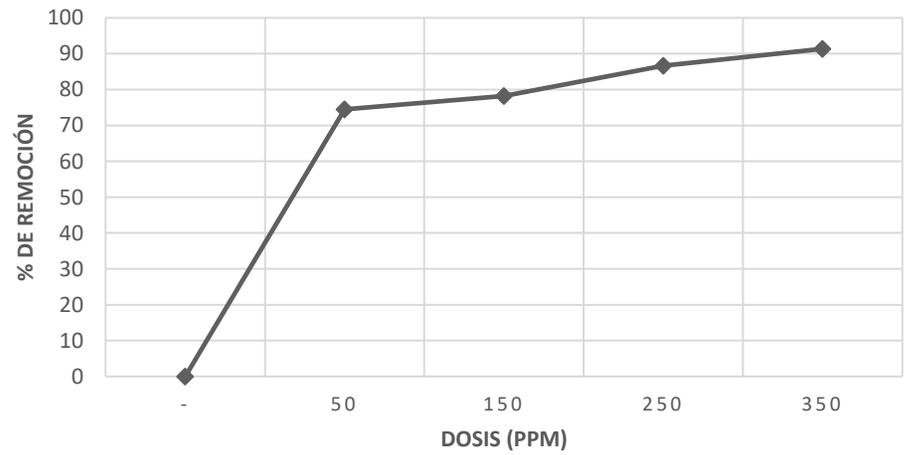
SST



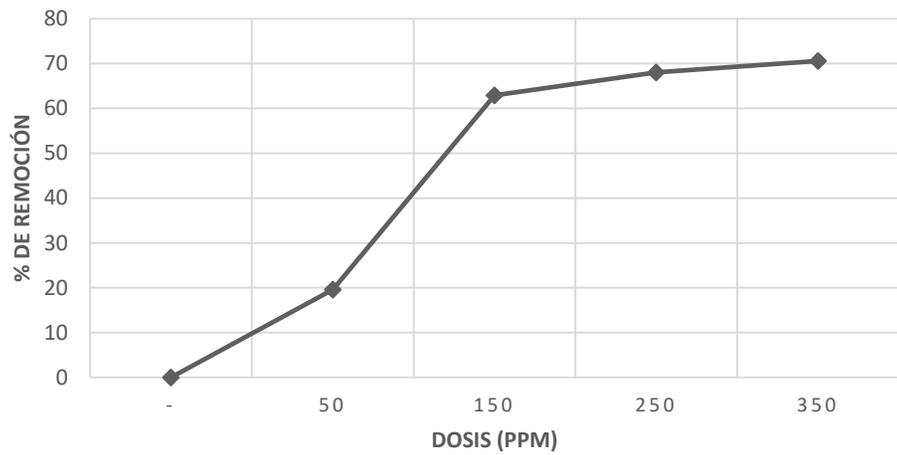
SST (GRAVIMÉTRICO)



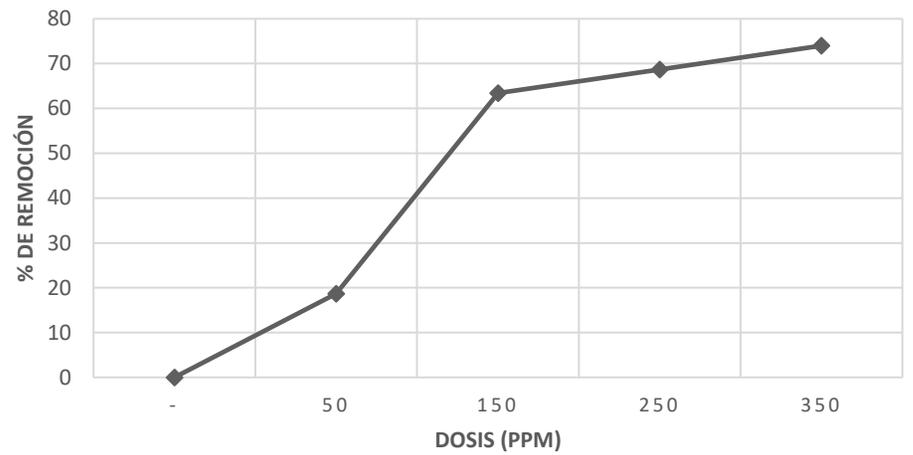
COLOR VERDADERO



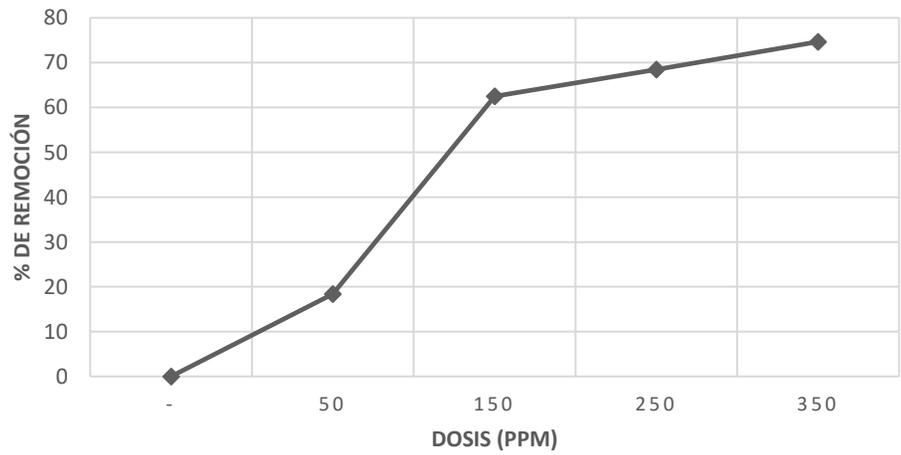
COLOR VERDADERO (436 NM)



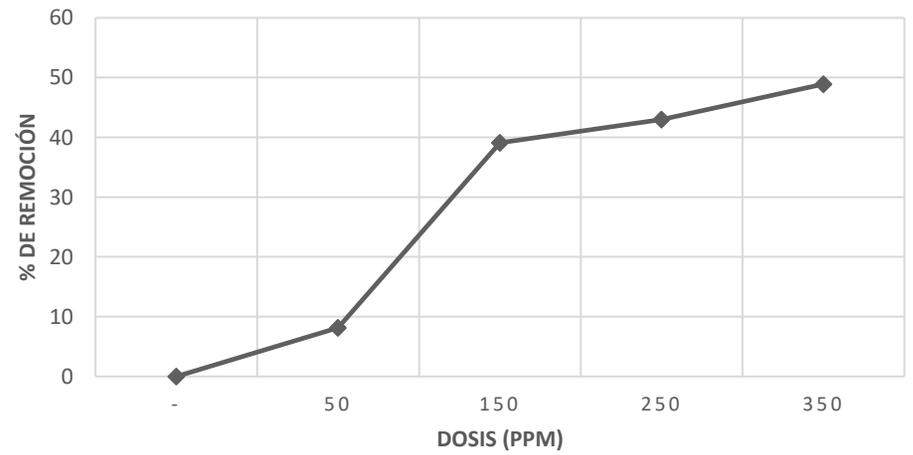
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)

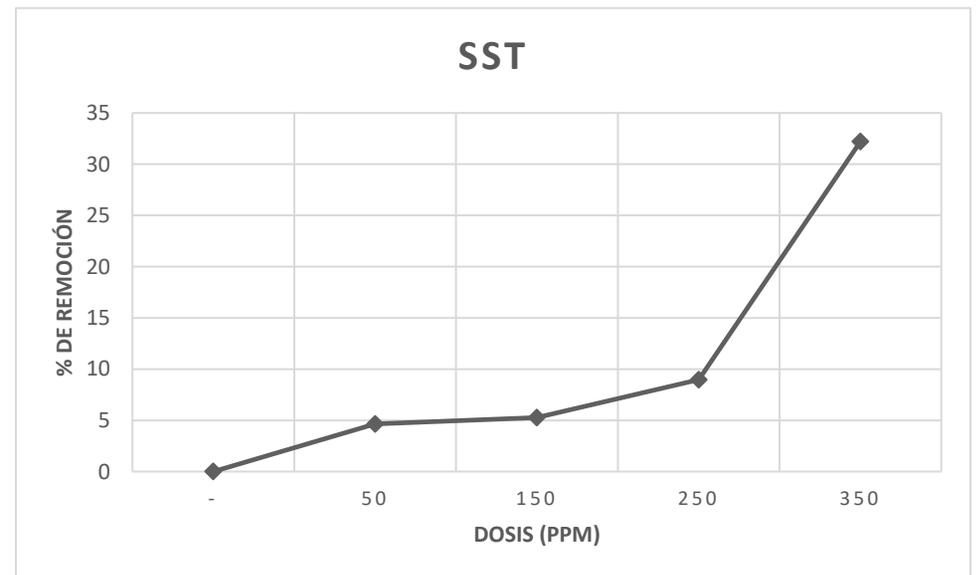
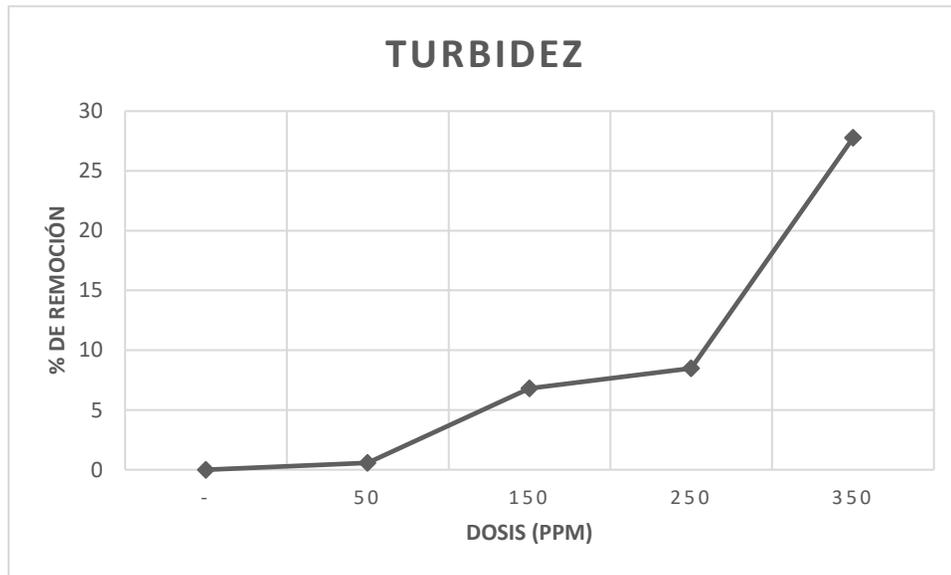


DQO

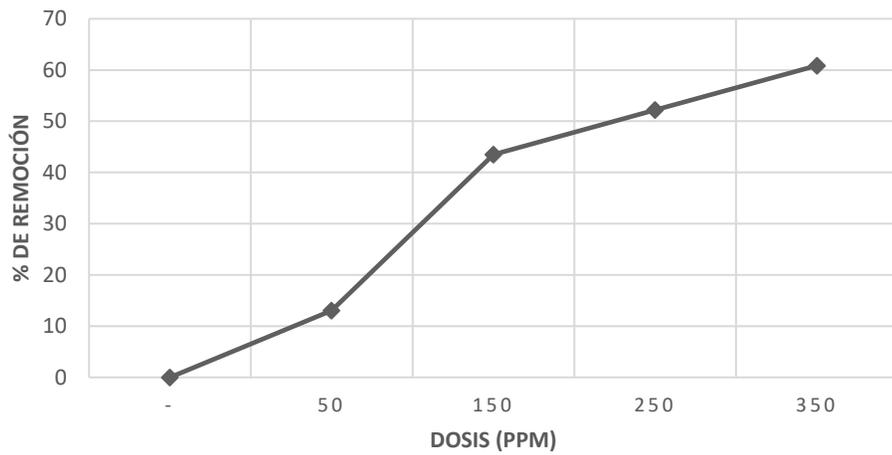


AC 1220

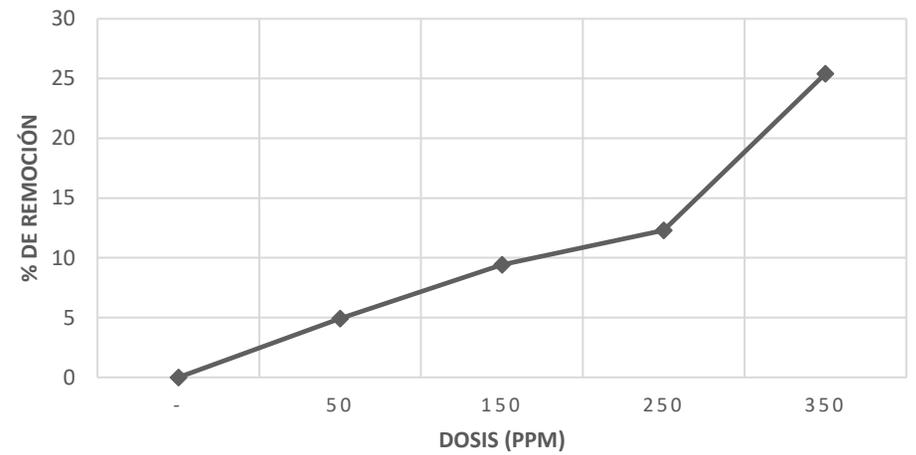
No. De muestra	AC 1220 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	353	323	230	2440	39.09	27.4	20.98	2215	Floc coloidal
1	50	0.5	351	308	200	2320	28.19	17.68	11.73	2017	Disperso
2	150	1	329	306	130	2210	26.22	16.61	11.38	1865	Visible
3	250	1.5	323	294	110	2140	24.41	14.21	8.7	1693	Visible
4	350	1.5	255	219	90	1820	19.41	10.67	6.22	1640	Claro



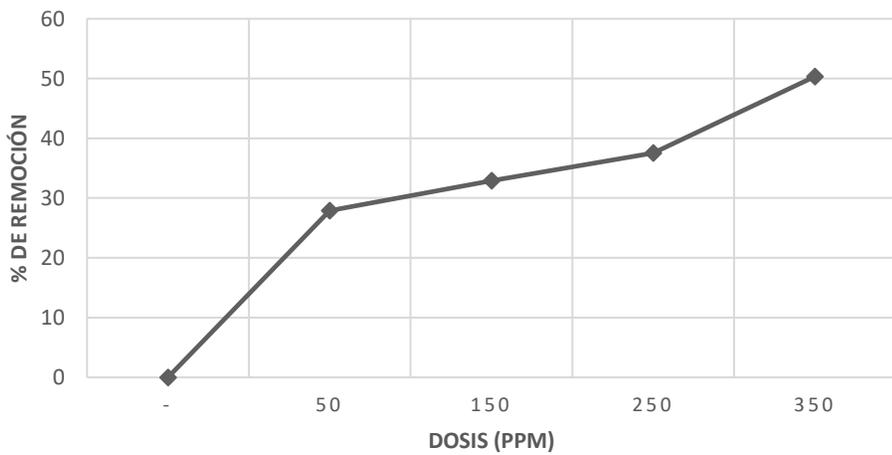
SST (GRAVIMÉTRICO)



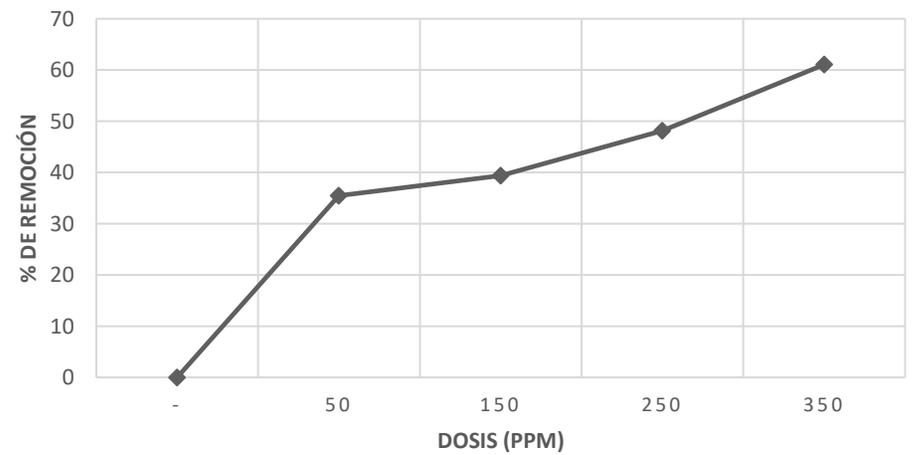
COLOR VERDADERO



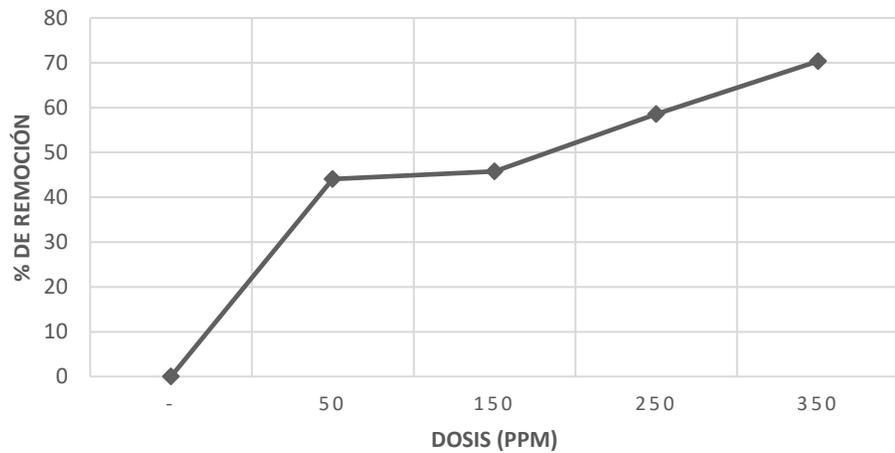
COLOR VERDADERO (436 NM)



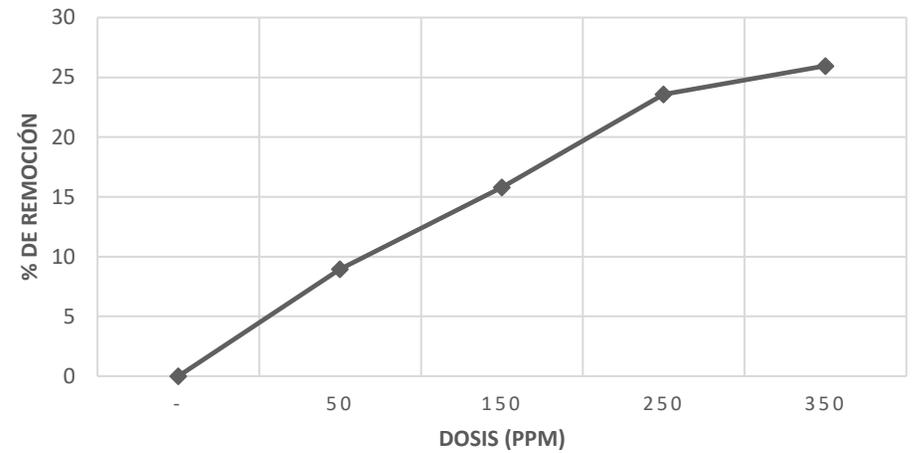
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)



DQO



De acuerdo con los resultados presentados se encontraron las mejores dosis de cada producto:

- **NALKAT 7607: Muestra 3;** Catiónico: 250 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

Ya que en los parámetros fisicoquímicos la variación de datos con la muestra 4 es mínima, por lo que en cuanto a costos es mejor la 3 porque se obtienen resultados similares.

- **STARCOAG: Muestra 2;** Catiónico: 150 ppm; Aniónico: 1 ppm

Se escoge la muestra 2 ya que los parámetros fisicoquímicos no varían en gran medida con el de la muestra 3, y entre la muestra 3 y 4 la variación es mínima.

- **Tabla AC 1220: Muestra 3;** Catiónico: 250 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

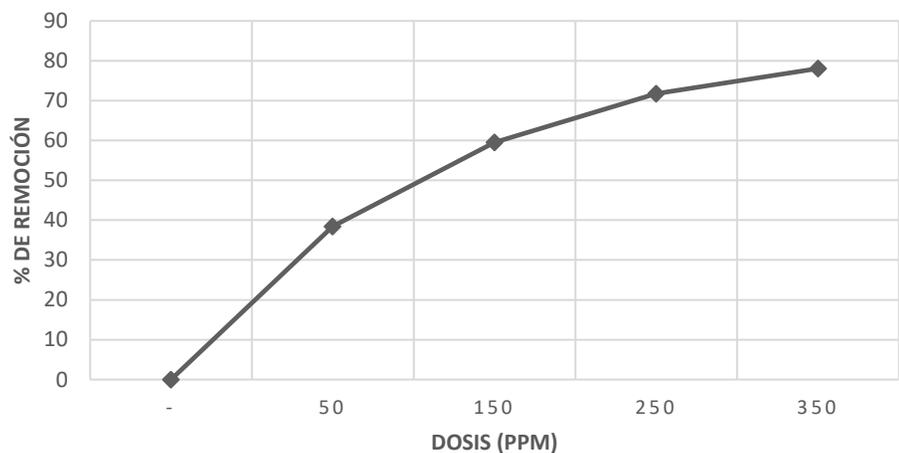
La muestra 3 es la mejor debido a que se presentan valores similares que el de la muestra 4, pero en cuanto a costos, resulta más eficiente la 3, ya que con menos cantidad se obtienen buenos resultados.

Medium

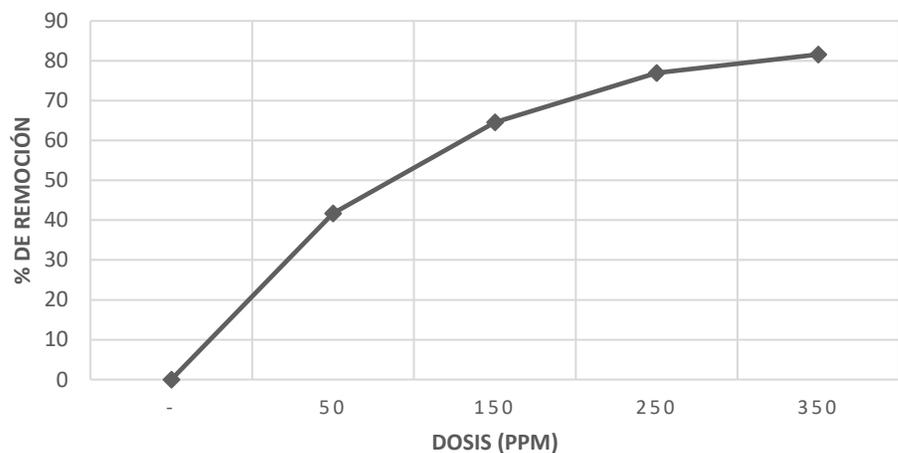
STARCOAG

No. De muestra	Starcoag Catiónico	Starfloc Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	442	429	213.33	2810	29.25	18.66	13.07	2164	Floc coloidal
1	50	0.5	272	250	146.67	1890	25.75	16.06	11.06	1948	Claro
2	150	1	179	152	66.7	1210	17.32	10.28	6.77	1272	Claro
3	250	1.5	125	99	66.7	790	12.64	7.56	5	1158	Bueno
4	350	1.5	97	79	26.67	670	10.31	5.98	3.94	1071	Excelente

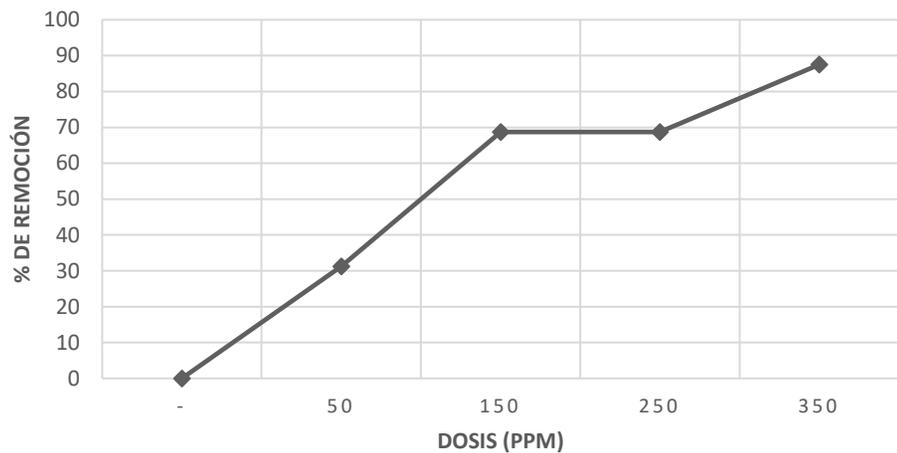
TURBIDEZ



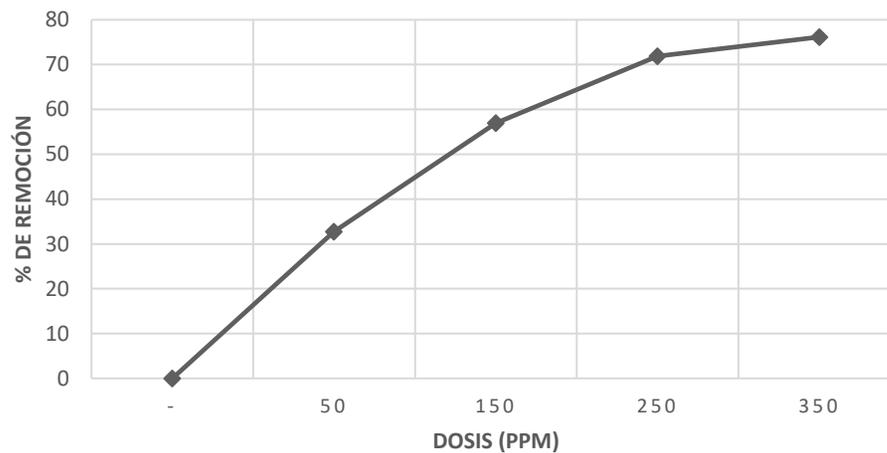
SST



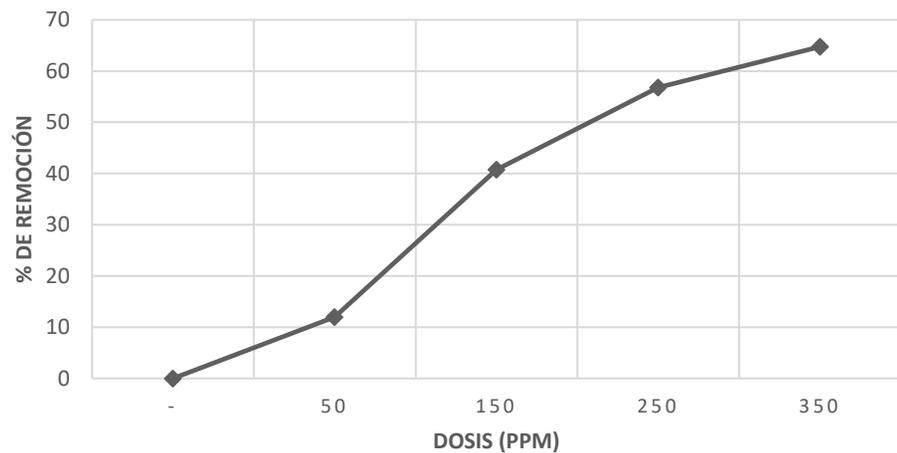
SST (GRAVIMÉTRICO)



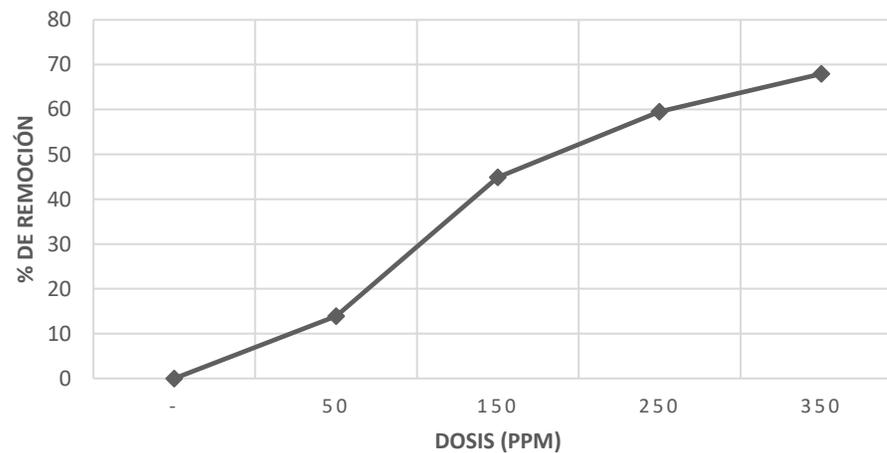
COLOR VERDADERO



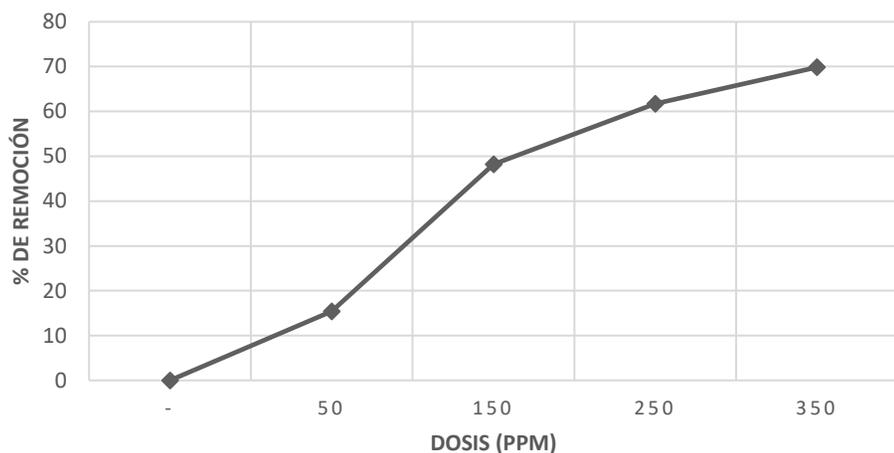
COLOR VERDADERO (436 NM)



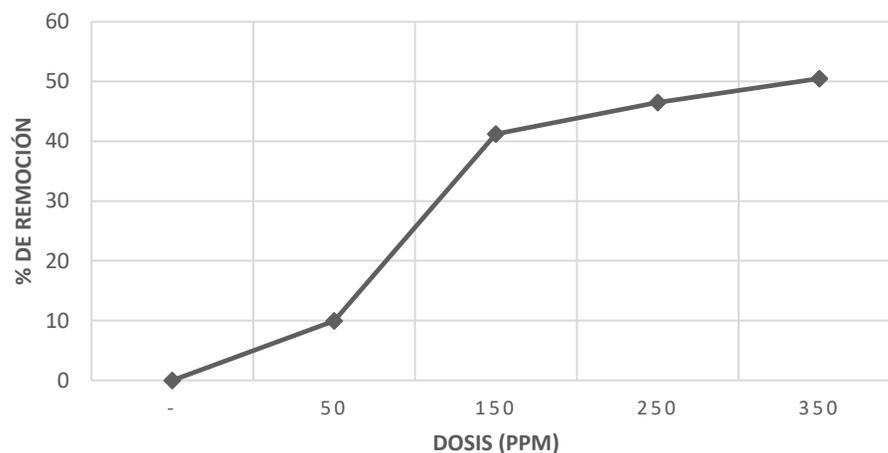
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)



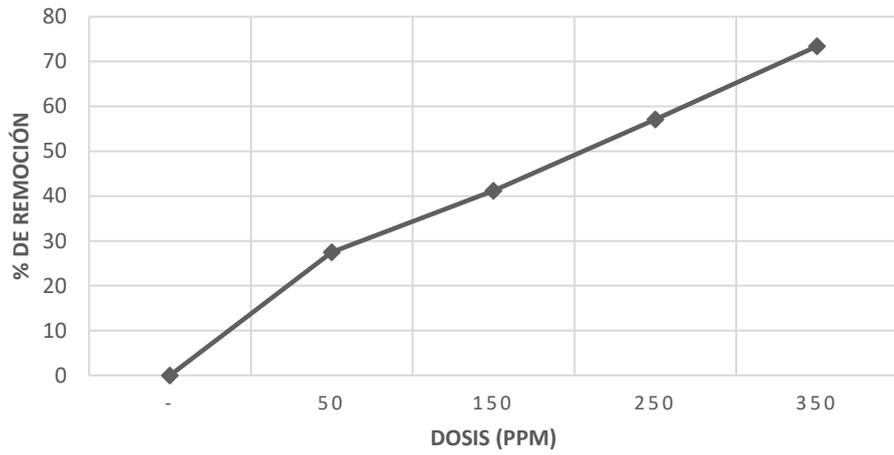
DQO



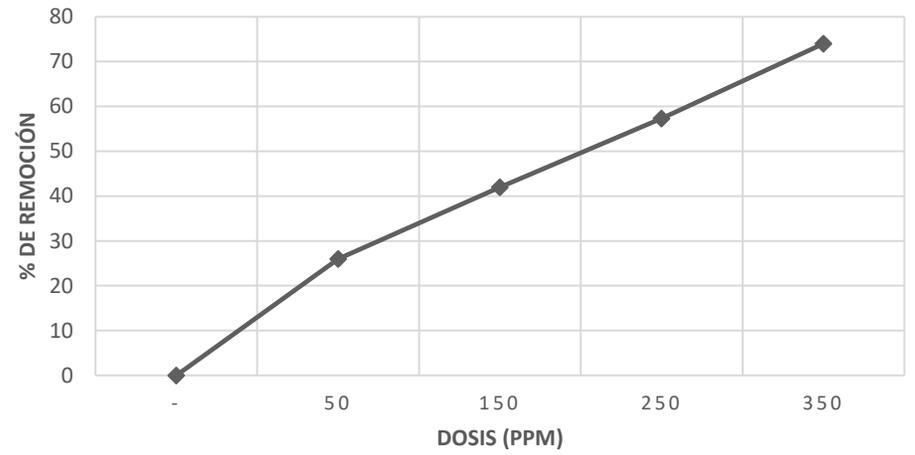
AC 1220

No. De muestra	AC 1220 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	459	300	126.67	4850	42.64	29.72	20.71	1651	Floc coloidal
1	50	0.5	333	222	86.67	3710	41.3	27.76	19.53	1438	Visible
2	150	1	270	174	73.33	3040	41.14	26.73	18.86	1193	Claro
3	250	1.5	197	128	53.33	2510	32.36	20.91	14.13	1170	Claro
4	350	1.5	122	78	33.33	1380	24.45	15.24	10.24	1167	Bueno

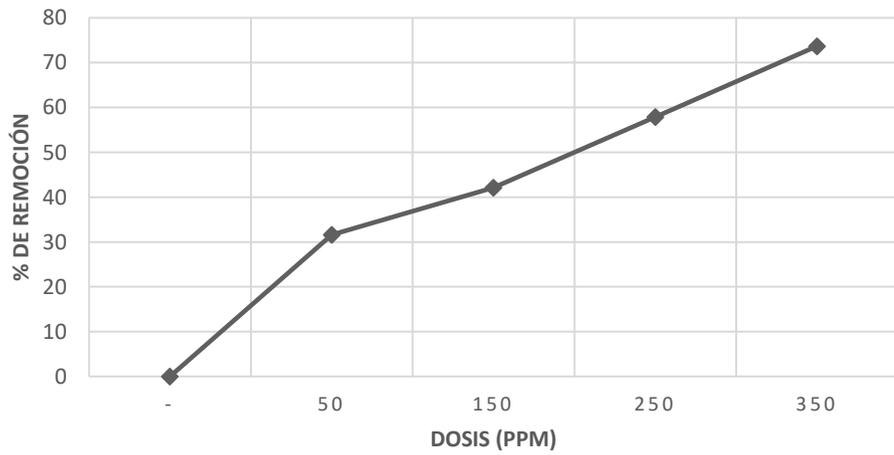
TURBIDEZ



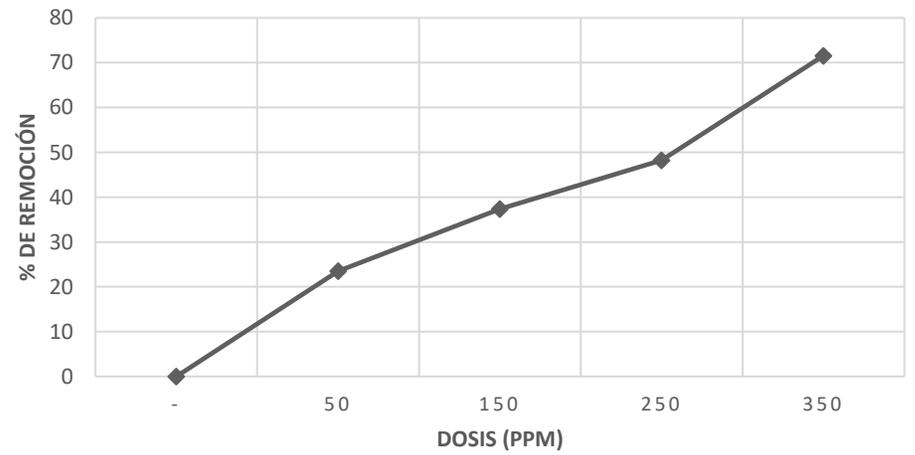
SST



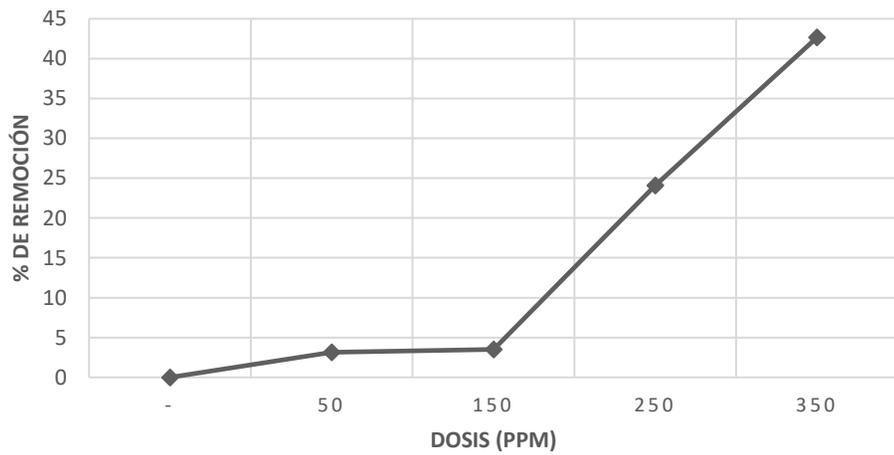
SST (GRAVIMÉTRICO)



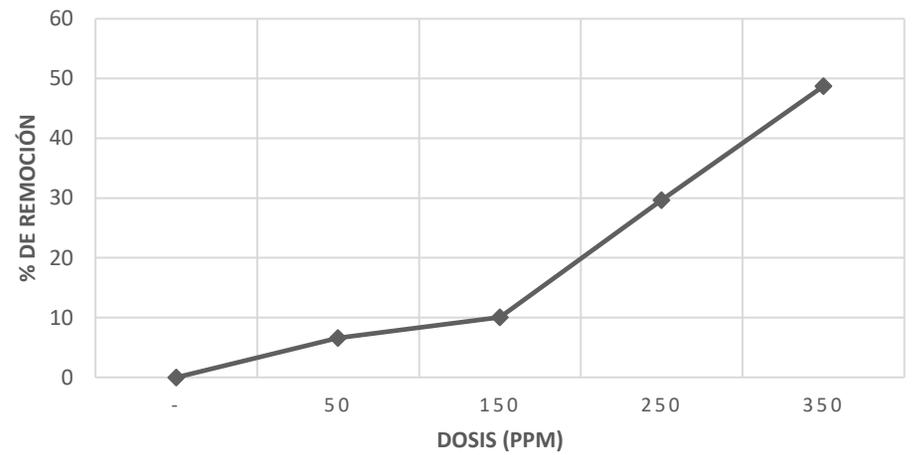
COLOR VERDADERO



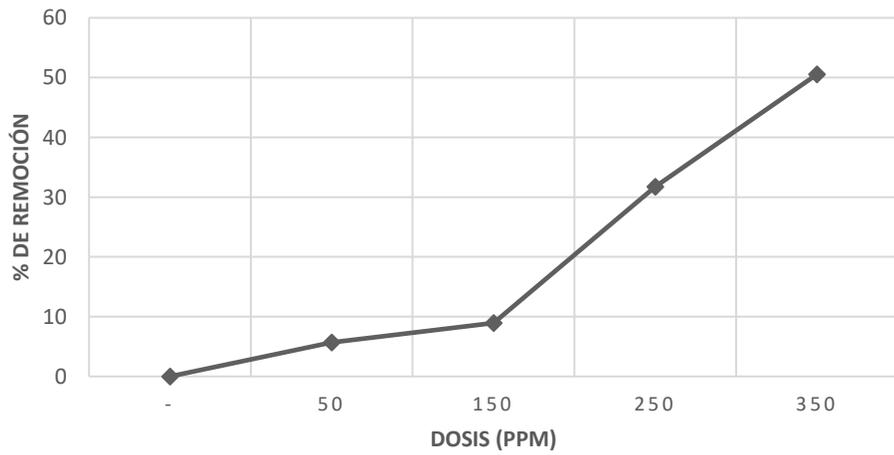
COLOR VERDADERO (436 NM)



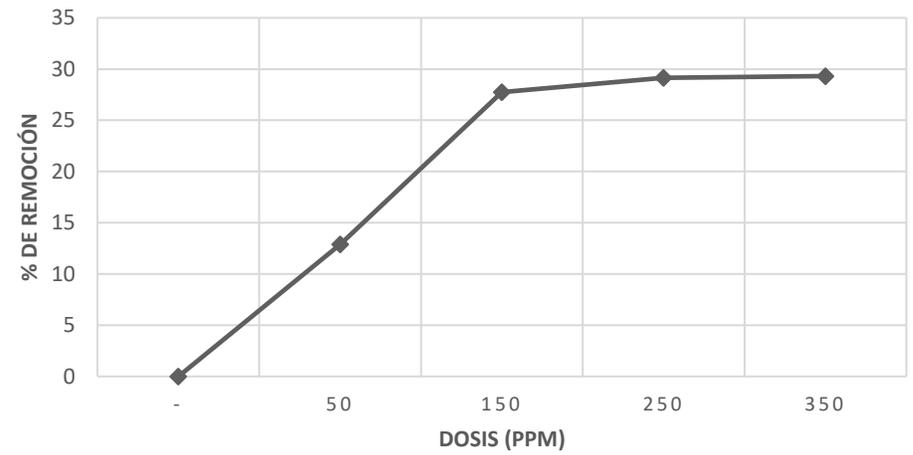
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)

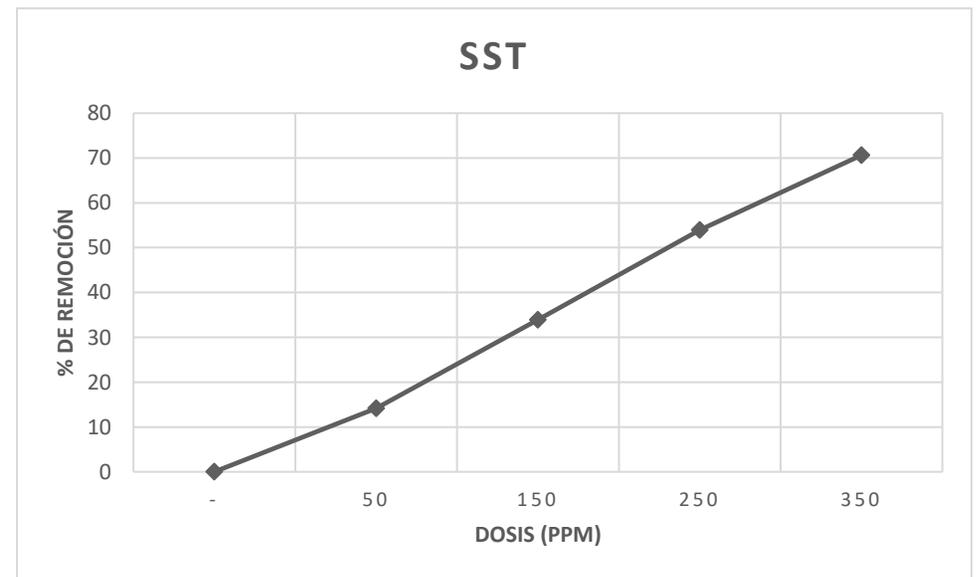
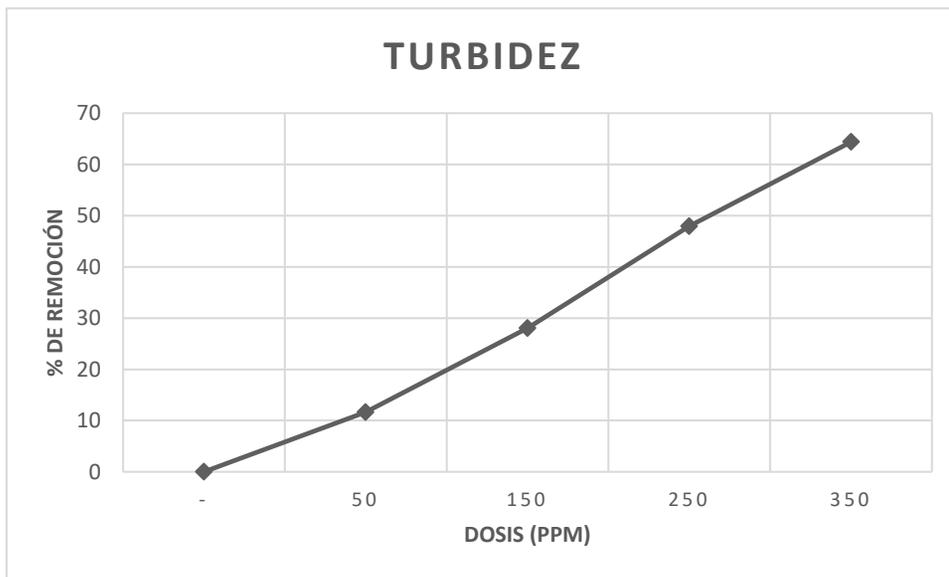


DQO

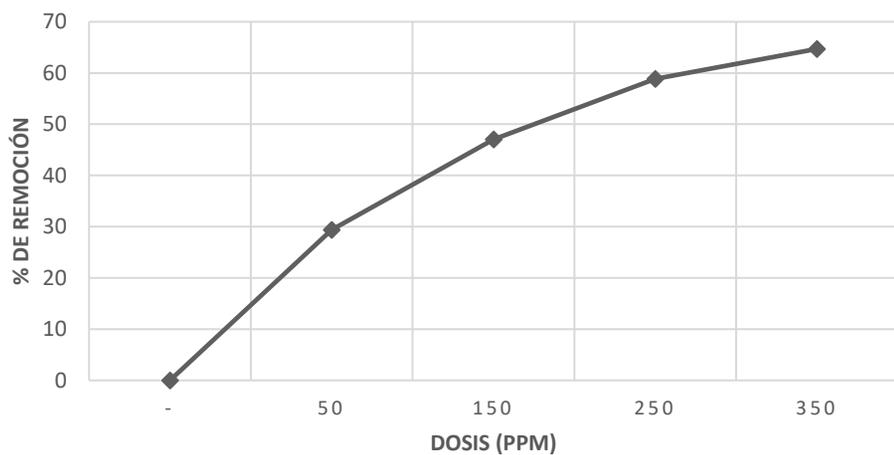


NALKAT 7607

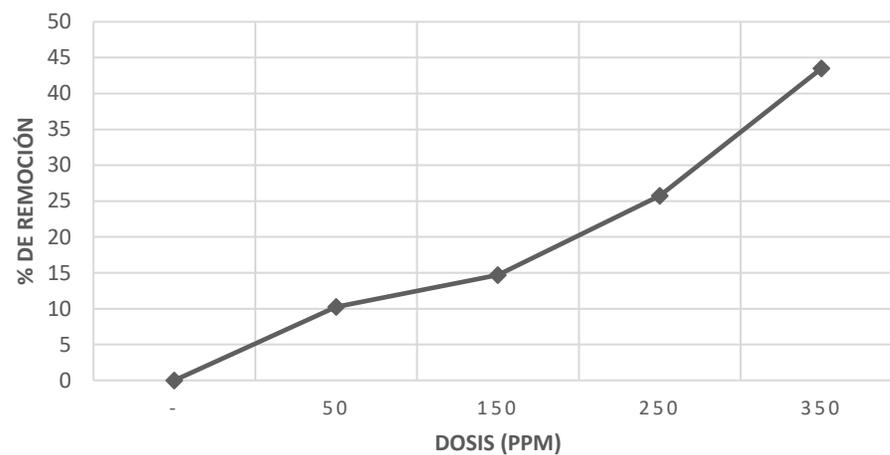
No. De muestra	NALKAT 7607 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez FAU	SST mg/L	SST (Gravimétrico) mg/L	Color verdadero mg/L	Color verdadero			DQO mg/L	Observaciones
							7.0 m ⁻¹ 436 nm	5.0 m ⁻¹ 525 nm	3.0 m ⁻¹ 620 nm		
Blanco	-	-	438	395	170	3610	38.6	33.4	30.2	2317	Floc coloidal
1	50	0.5	387	339	120	3240	33.4	29.8	24	1860	Claro
2	150	1	315	261	90	3080	30.12	26.85	21.3	1542	Claro
3	250	1.5	228	182	70	2680	27.83	23.56	15.47	1392	Bueno
4	350	1.5	156	116	60	2040	25.61	18.64	13.22	1213	Excelente



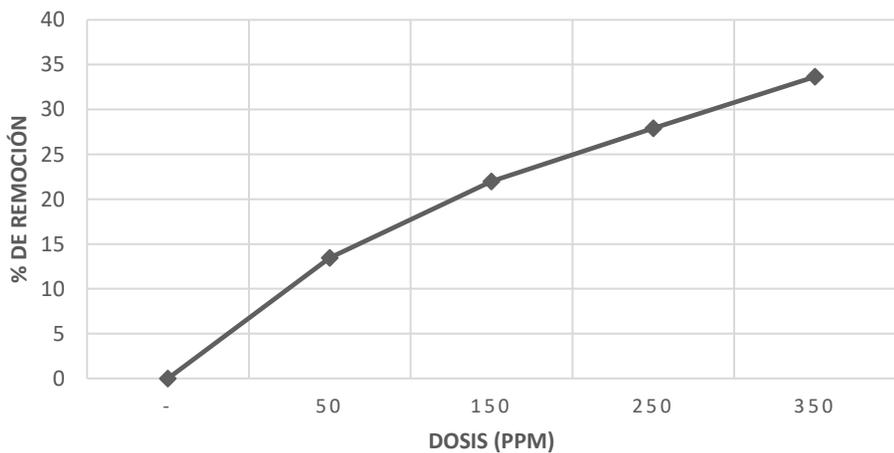
SST (GRAVIMÉTRICO)



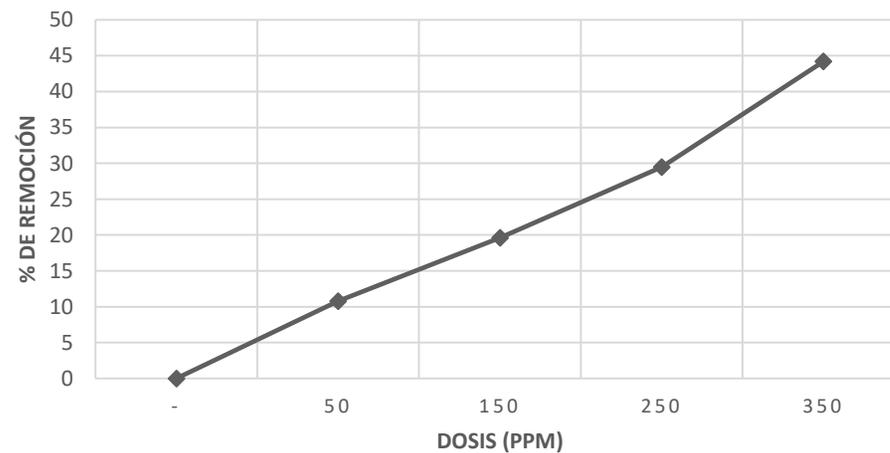
COLOR VERDADERO

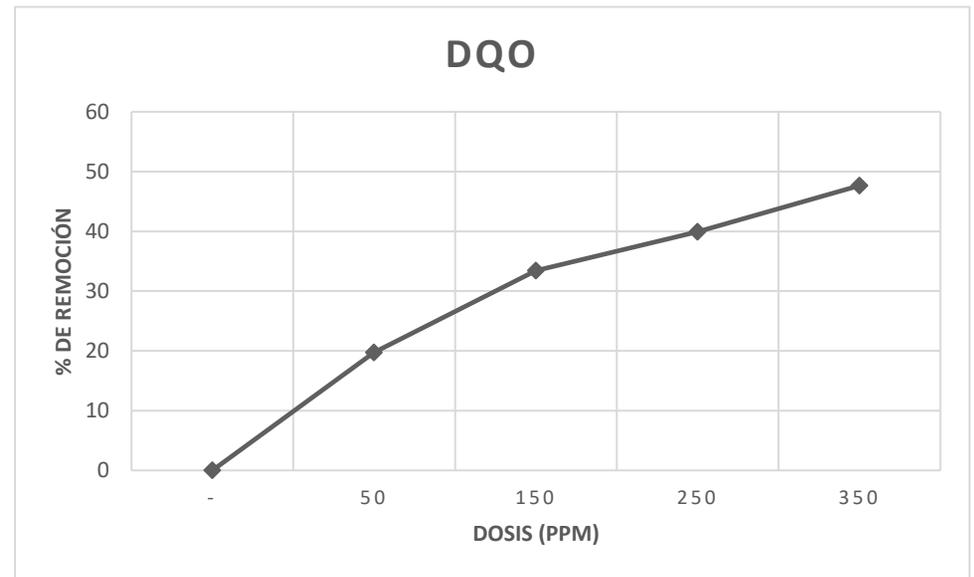
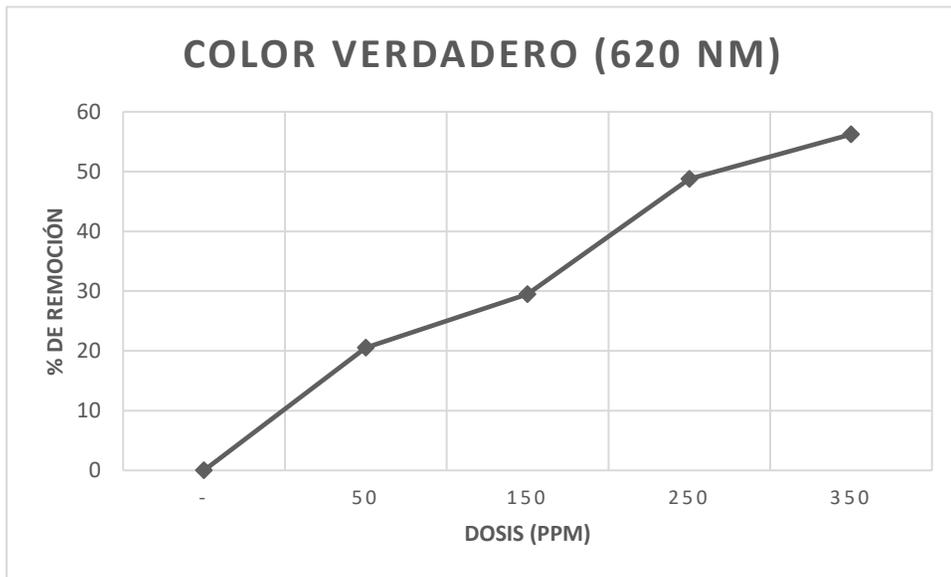


COLOR VERDADERO (436 NM)



COLOR VERDADERO (525 NM)





De acuerdo con los resultados presentados se encontraron las mejores dosis de cada producto:

- **STARCOAG: Muestra 3;** Catiónico: 250 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

Debido a que en los parámetros fisicoquímicos la variación de datos con la muestra 4 es mínima, por lo que en cuanto a costos es mejor la 3 ya que se obtienen resultados similares.

- **AC 1220: Muestra 4;** Catiónico: 350 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

Se escoge la muestra 4 ya que a diferencia de las otras muestras visualmente se ve mejor y en los parámetros fisicoquímicos se nota una variación diferenciable.

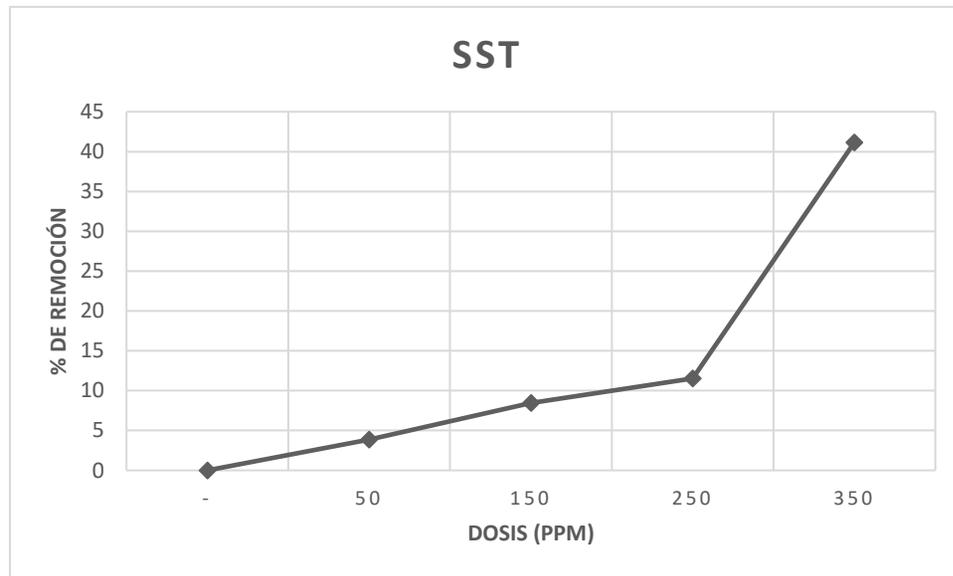
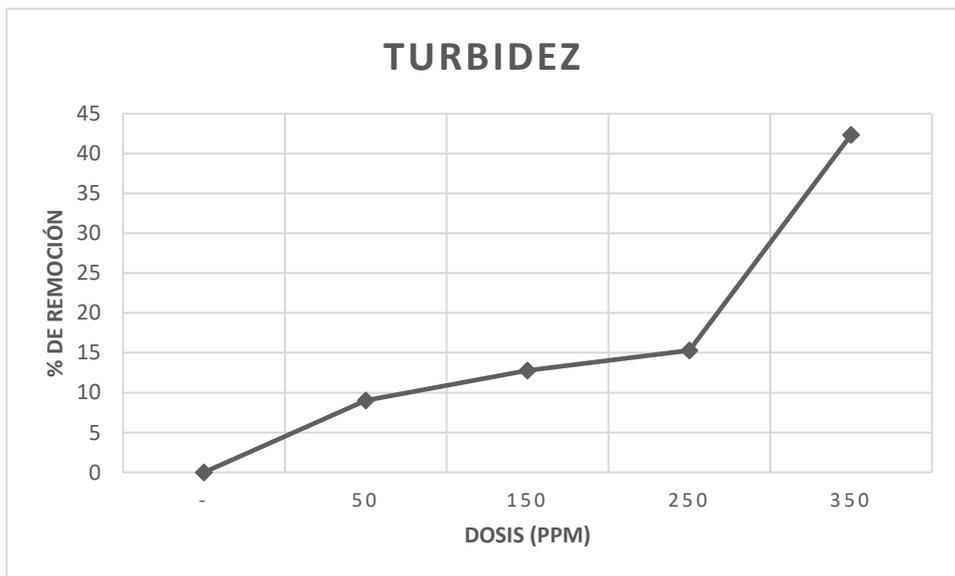
- **NALKAT 7607: Muestra 4;** Catiónico: 350 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

La muestra 4 es la mejor debido a que el floc es excelente y en cuanto a los parámetros fisicoquímicos se nota una gran diferencia en el porcentaje de remoción de la mayoría de los parámetros respecto a las otras muestras.

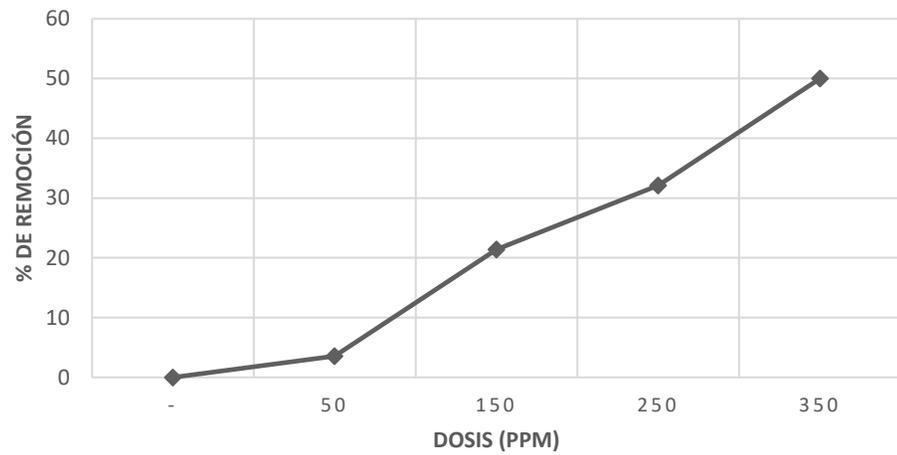
Liner

NALKAT 7607

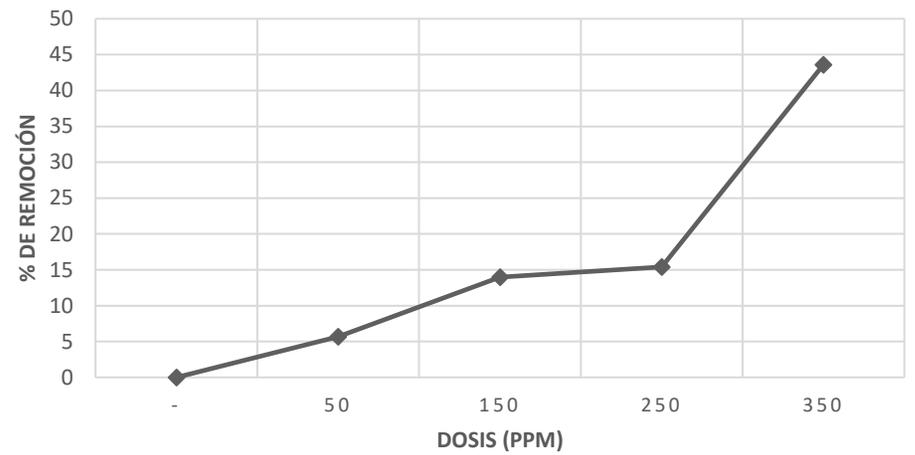
No. De muestra	NALKAT 7607 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez FAU	SST mg/L	SST (Gravimétrico) mg/L	Color verdadero mg/L	Color verdadero			DQO mg/L	Observaciones
							7.0 m ⁻¹ 436 nm	5.0 m ⁻¹ 525 nm	3.0 m ⁻¹ 620 nm		
Blanco	-	-	399	260	280	4220	37.17	31.85	26.1	2147	Floc coloidal
1	50	0.5	363	250	270	3980	34.61	22.76	15.67	2101	Visible
2	150	1	348	238	220	3630	29.21	19.8	13.82	2029	Visible
3	250	1.5	338	230	190	3570	23.9	16.34	11.18	2011	Disperso
4	350	1.5	230	153	140	2380	23.11	14.96	9.96	1990	Claro



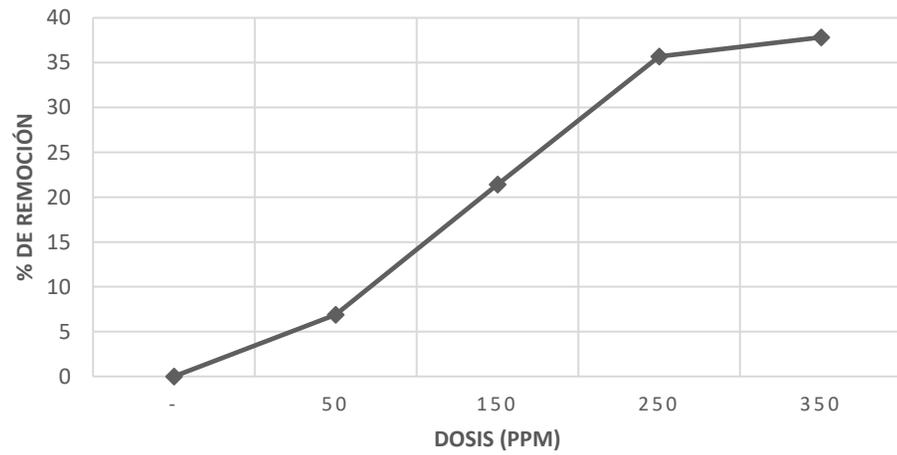
SST (GRAVIMÉTRICO)



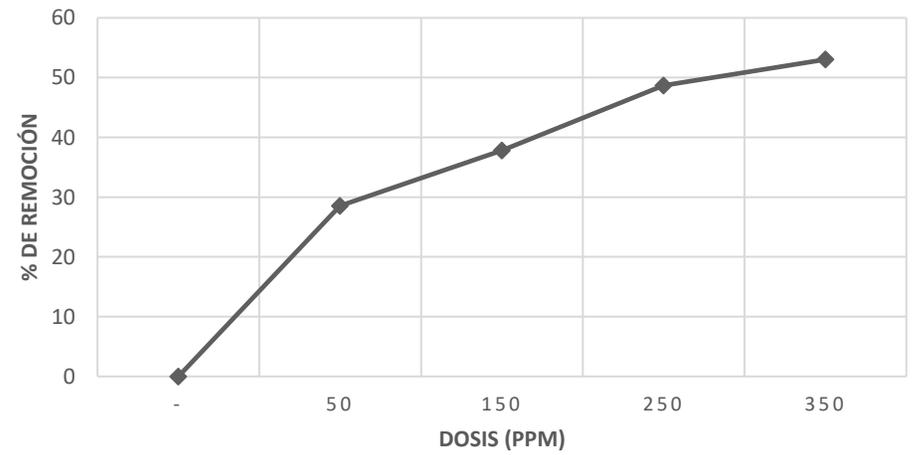
COLOR VERDADERO



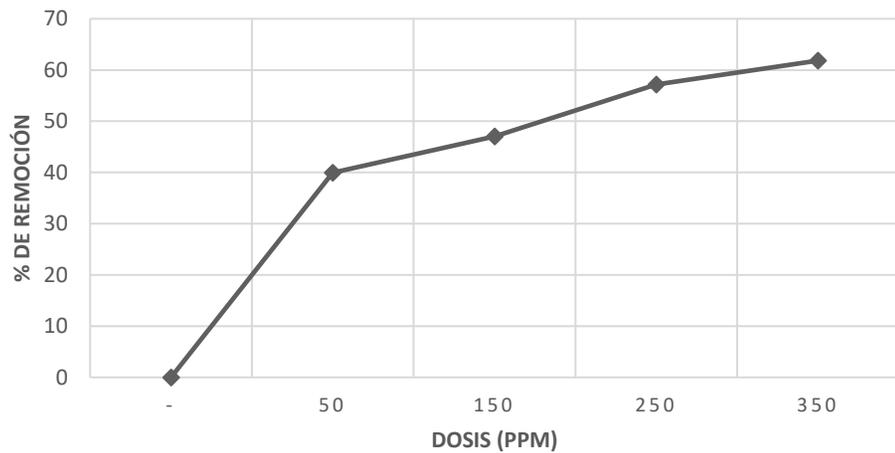
COLOR VERDADERO (436 NM)



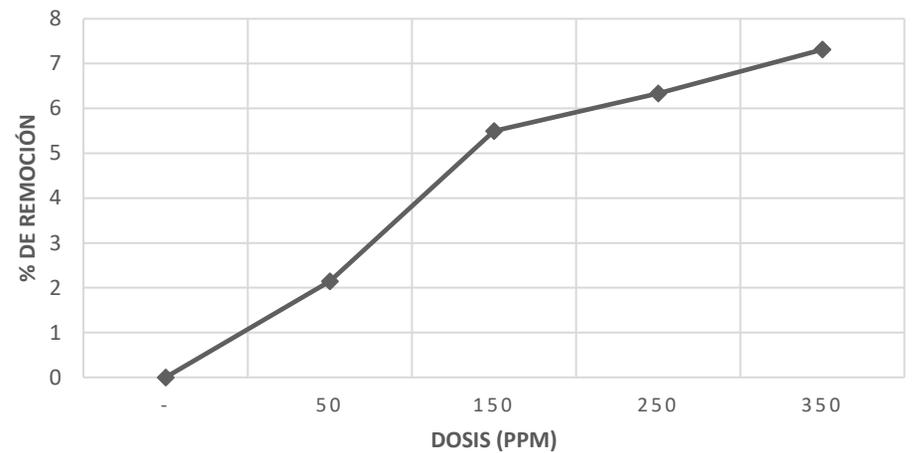
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)



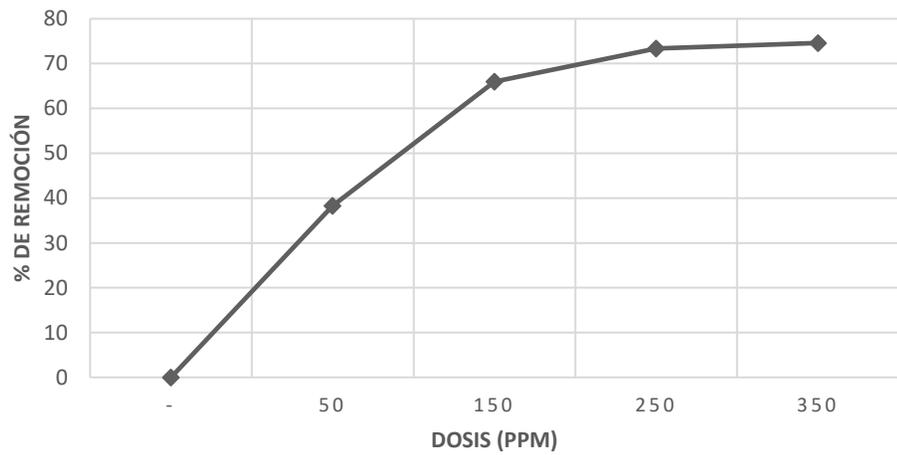
DQO



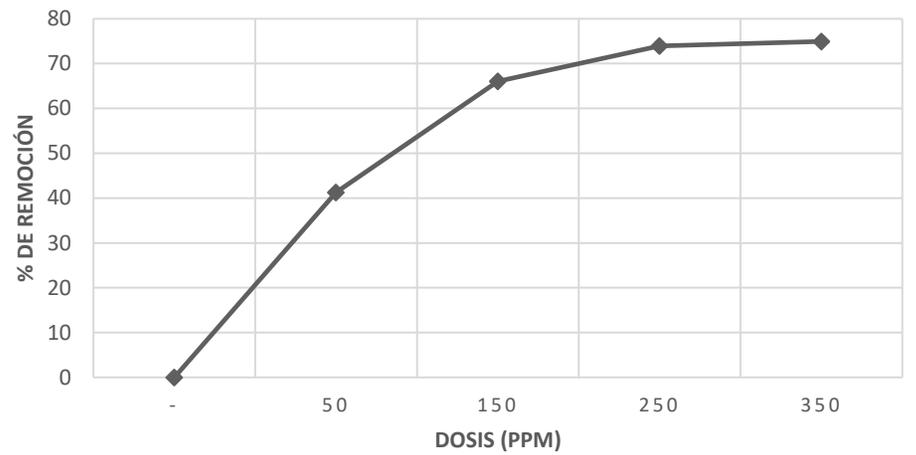
STARCOAG

No. De muestra	Starcoag Catiónico	Starfloc Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	567	395	220	5500	41.26	31.26	20.55	2278	Floc coloidal
1	50	0.5	350	232	166.67	4160	33.86	22.64	16.3	2070	Visible
2	150	1	193	134	53.3	2440	22.05	14.37	10.59	2032	Disperso
3	250	1.5	151	103	46.67	2390	19.21	12.32	9.02	2030	Claro
4	350	1.5	144	99	33.3	176	17.83	11.61	8.39	2008	Bueno

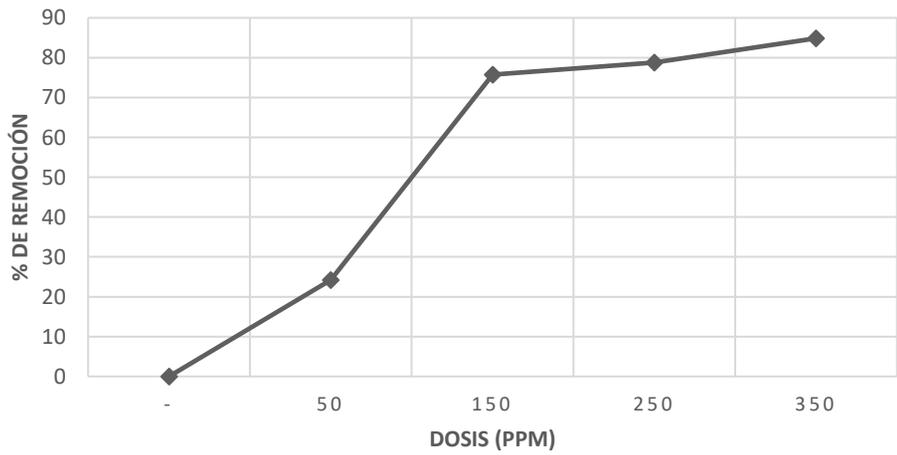
TURBIDEZ



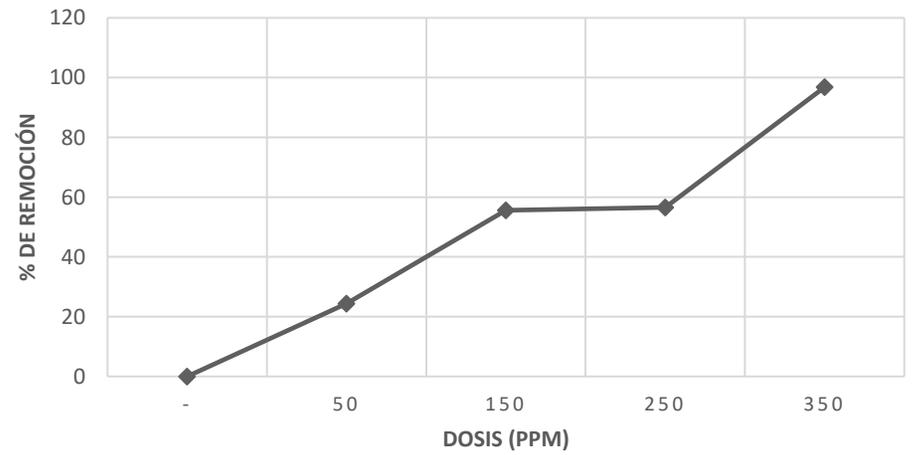
SST



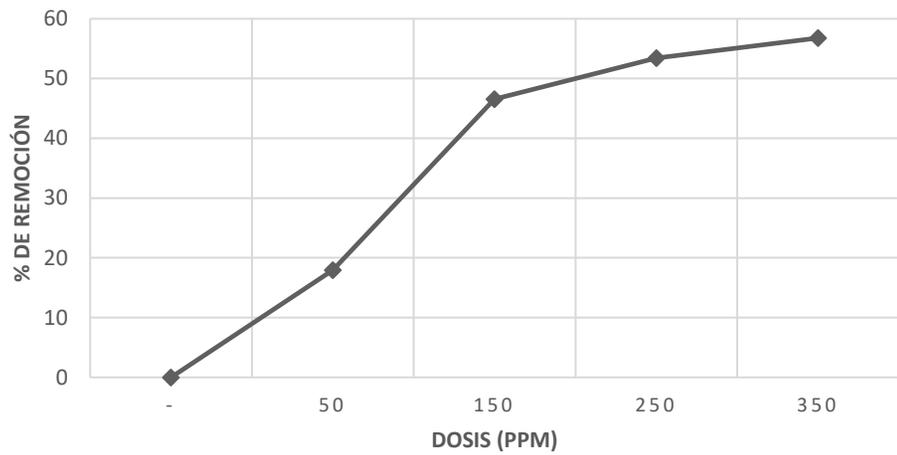
SST (GRAVIMÉTRICO)



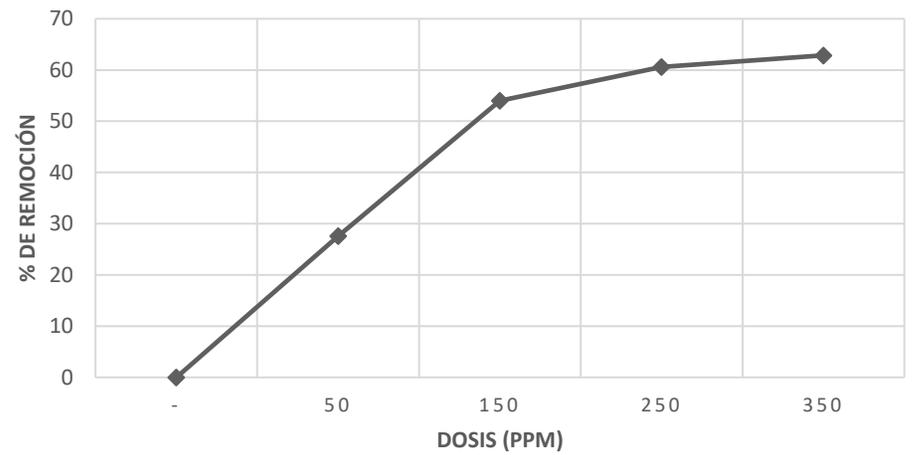
COLOR VERDADERO



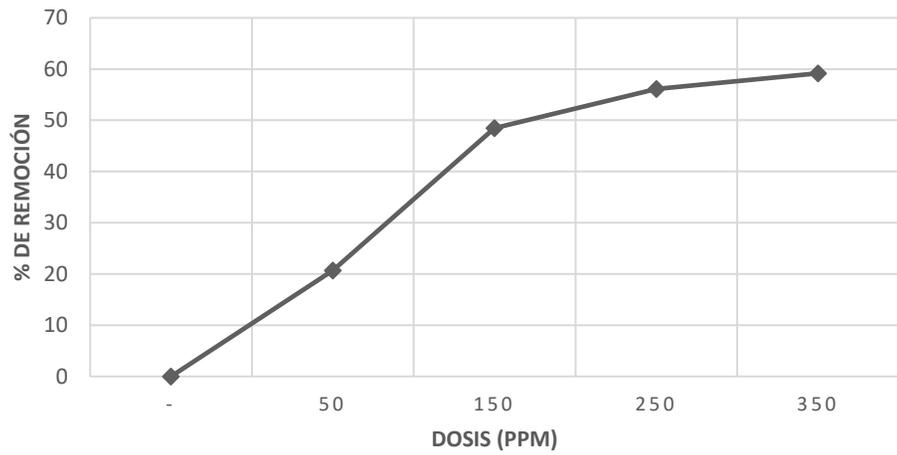
COLOR VERDADERO (436 NM)



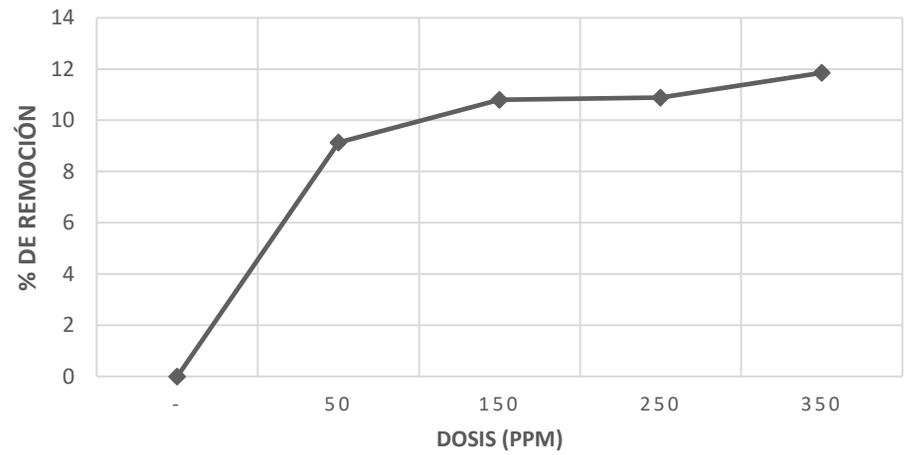
COLOR VERDADERO (525 NM)



COLOR VERDADERO (620 NM)

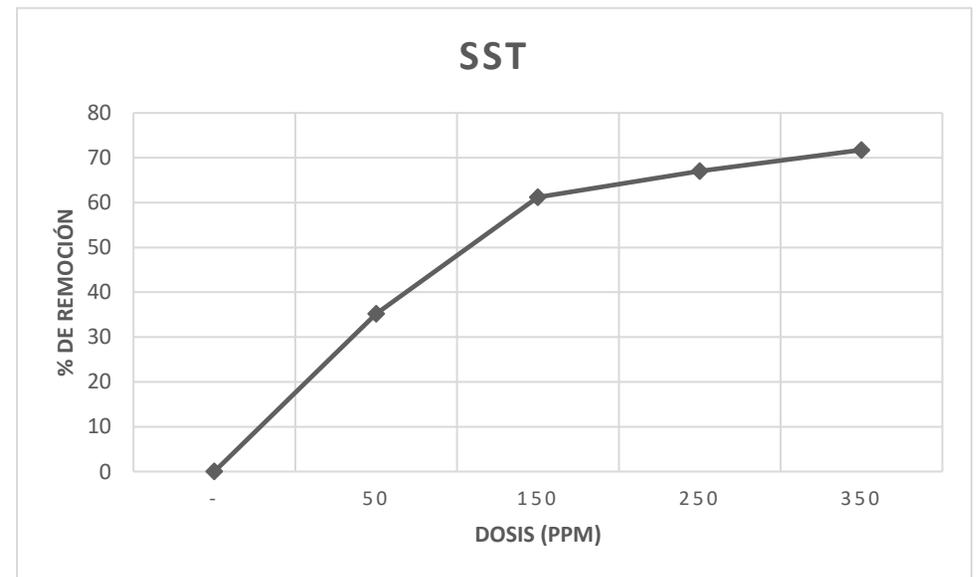
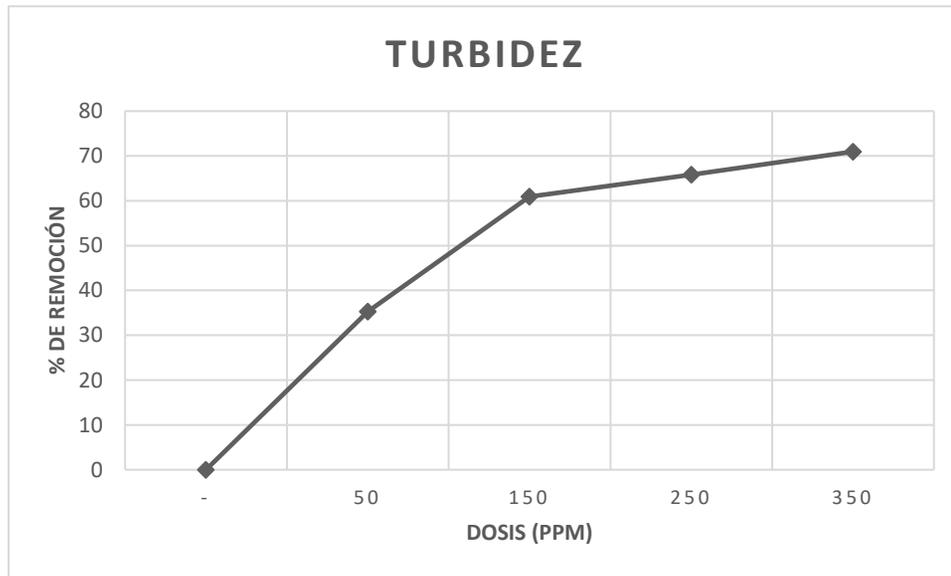


DQO

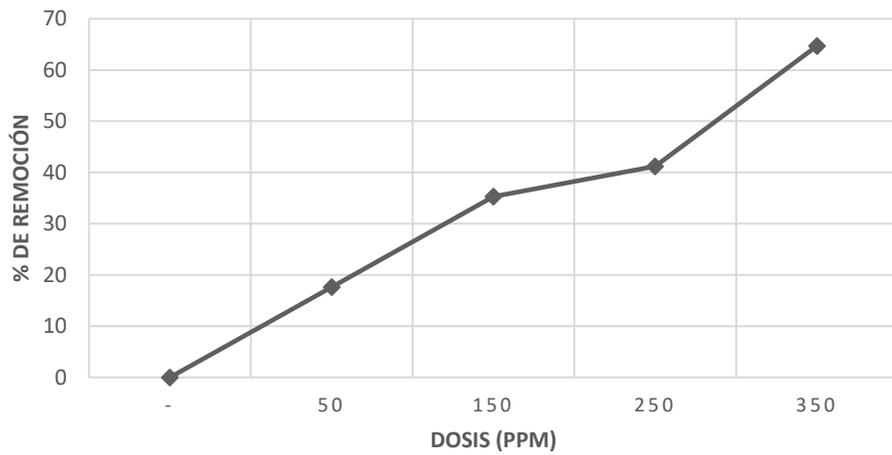


AC 1220

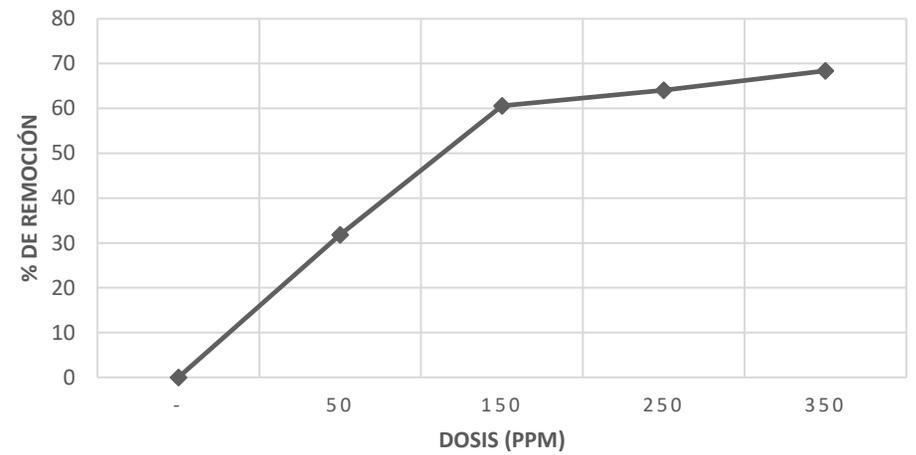
No. De muestra	AC 1220 Catiónico	NALCO 3249 Aniónico	Turbidez	SST	SST (Gravimétrico)	Color verdadero	Color verdadero			DQO	Observaciones
							7.0 m ⁻¹	5.0 m ⁻¹	3.0 m ⁻¹		
	PPM	PPM	FAU	mg/L	mg/L	mg/L	436 nm	525 nm	620 nm	mg/L	
Blanco	-	-	527	361	113.33	4620	41.34	26.93	19.49	1341	Floc coloidal
1	50	0.5	341	234	93.33	3150	38.66	24.76	17.87	1234	Visible
2	150	1	206	140	73.33	1820	32.2	20.75	14.84	1157	Disperso
3	250	1.5	180	119	66.67	1660	29.45	18.66	14.84	1148	Disperso
4	350	1.5	153	102	40	1460	24.25	15.16	10.55	1119	Bueno



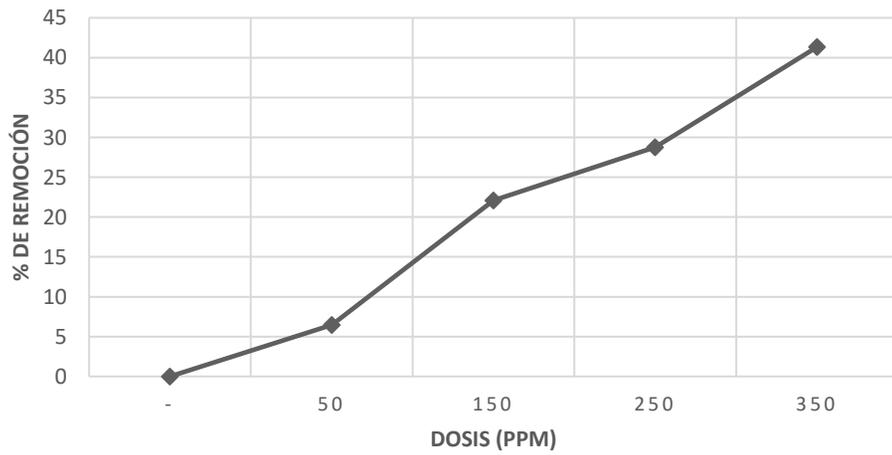
SST (GRAVIMÉTRICO)



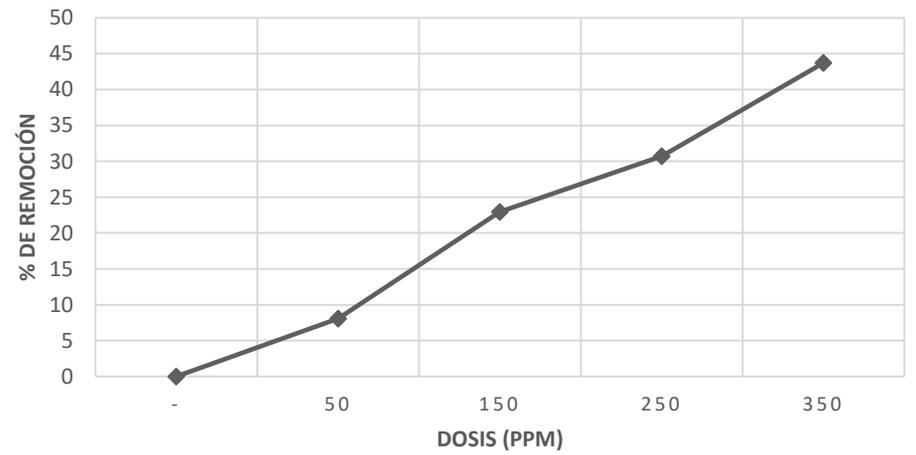
COLOR VERDADERO

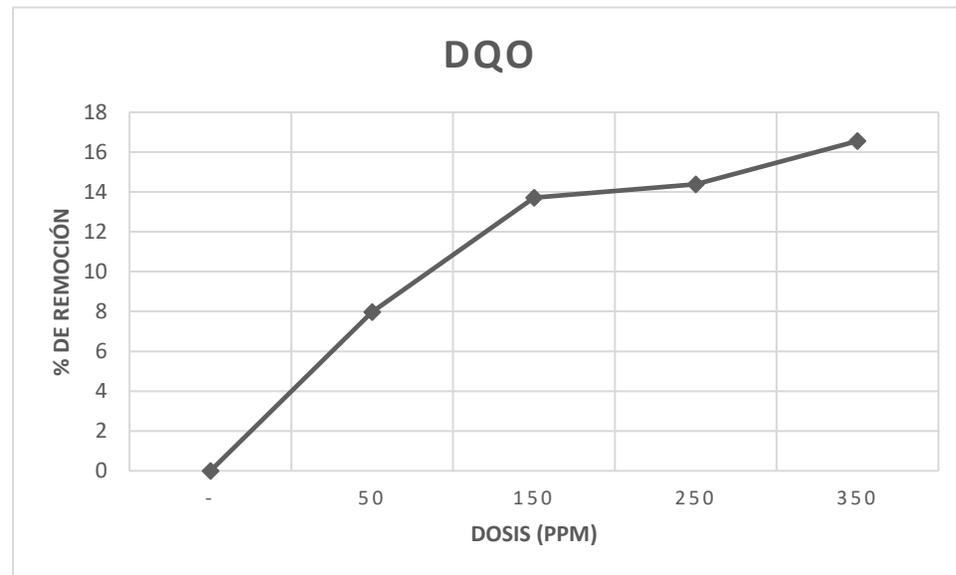
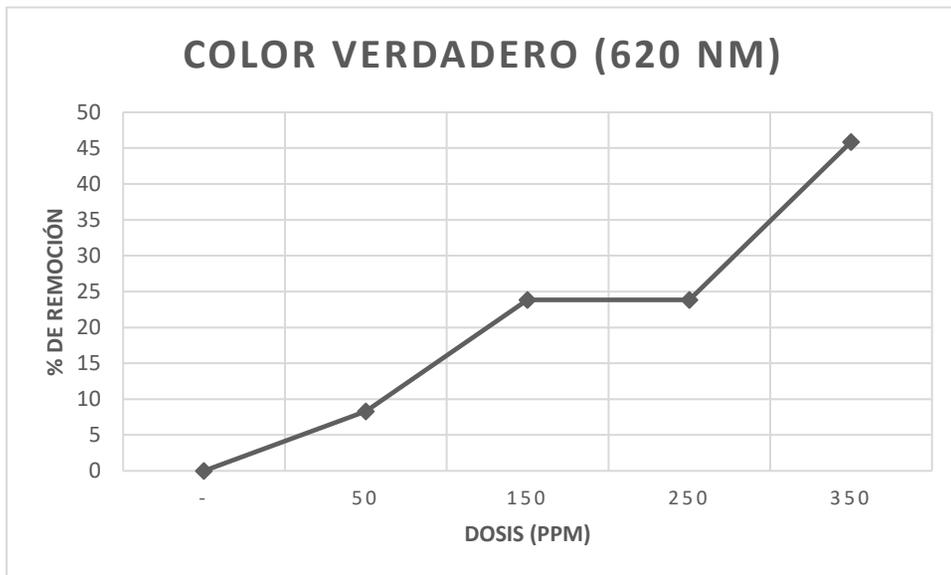


COLOR VERDADERO (436 NM)



COLOR VERDADERO (525 NM)





De acuerdo con los resultados presentados se encontraron las mejores dosis de cada producto químico:

- **NALKAT 7607: Muestra 4;** Catiónico: 350 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

Gráficamente se puede observar que debido a los parámetros fisicoquímicos el porcentaje de remoción de la mayoría de estos es mayor a diferencia de las otras muestras al de la 4, así como visualmente el floc se ve mejor.

- **STARCOAG: Muestra 4;** Catiónico: 350 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

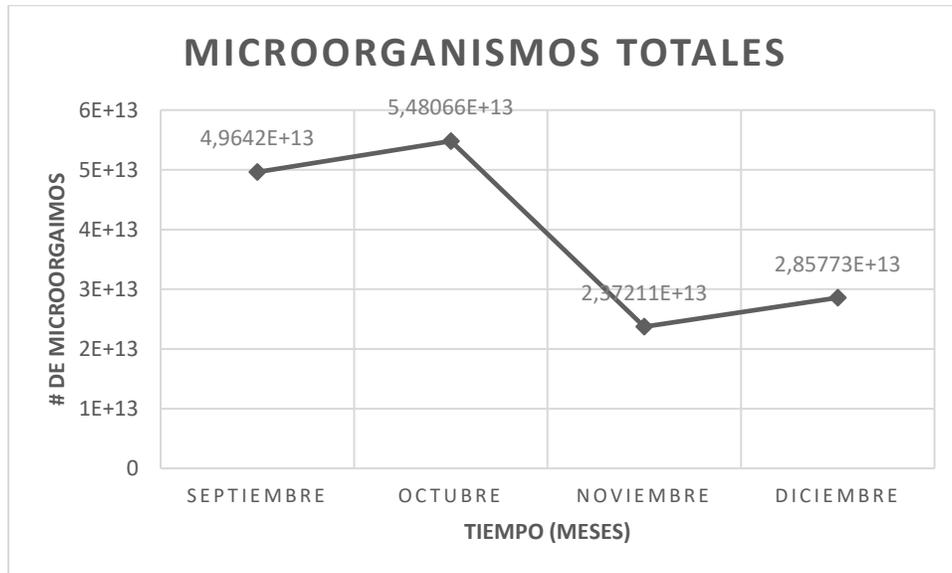
La muestra 4 se escogió como la mejor ya que se presentan resultados muy notorios a diferencia de todas las otras muestras.

- **AC 1220: Muestra 4;** Catiónico: 350 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

La muestra 4 es la mejor ya que presenta buenos resultados a diferencia de las demás muestras.

Además de las pruebas de jarras, también se monitoreó la cantidad de microorganismo en la laguna de lodos activados, esto con el fin de conocer el comportamiento de los microorganismos cuando se dosifica algún producto químico que ayude a la clarificación de las aguas residuales.

En la siguiente gráfica se presentan los datos mensuales de los microorganismos totales encontrados en el periodo septiembre-diciembre.



El 20 de octubre comenzó a dosificarse a nivel planta NALKAT 7607, por lo que gráficamente se puede observar que en el lapso de octubre-noviembre la cantidad de microorganismos en la laguna comenzó a disminuir.

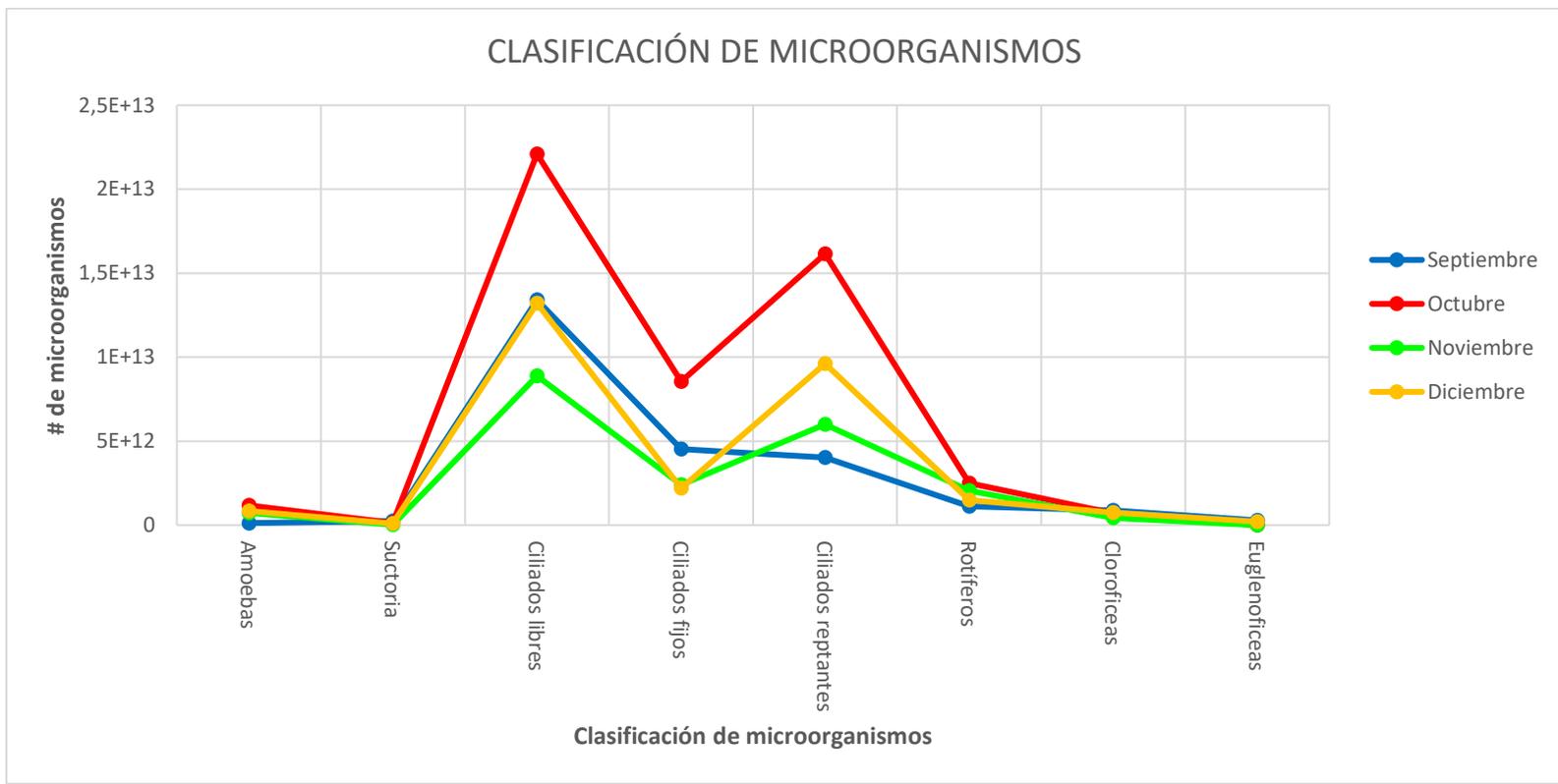
Sin embargo, el 15 de noviembre se cambió de producto químico, el cual fue Starcoag, en la gráfica se puede observar un aumento en los microorganismos de noviembre a diciembre, el cual se interpreta en que este producto no altera la cantidad de microorganismos en la laguna de lodos activados, ya que este sigue la tendencia de crecimiento.

Así mismo, se presentan los datos de los microorganismos de acuerdo con la clasificación que existen en una laguna de lodos activados, en donde se identificarán los 3 tipos de microorganismos que predominan.

Derivado de la identificación de las principales clasificaciones existentes en la laguna de lodos activados, se puede interpretar el funcionamiento del tratamiento secundario, debido a que algunos microorganismos se presentan de acuerdo con la cantidad de materia orgánica que presentan las aguas residuales entre otras cosas.

Se tomarán como predominantes las 3 principales clasificaciones sobresalientes que existieron en el periodo antes mencionado, en donde después se analizarán cuáles son los microorganismos específicamente que hay en la laguna de lodos activados, esto con la finalidad de saber la función de cada uno de ellos y verificar si su propósito en la laguna es positivo o negativo para el tratamiento de lodos activados y de esta forma verificar si se tiene un tratamiento secundario que beneficie al proceso del tratamiento de aguas residuales o no.

A continuación, se muestra dicha gráfica en donde en el eje de las X se encuentran los distintos tipos de clasificación de microorganismos, y en el eje de las Y se encuentra la cantidad de cada tipo de microorganismo, graficándose respecto a la cantidad que hubo mensualmente en el periodo correspondiente de septiembre-diciembre.

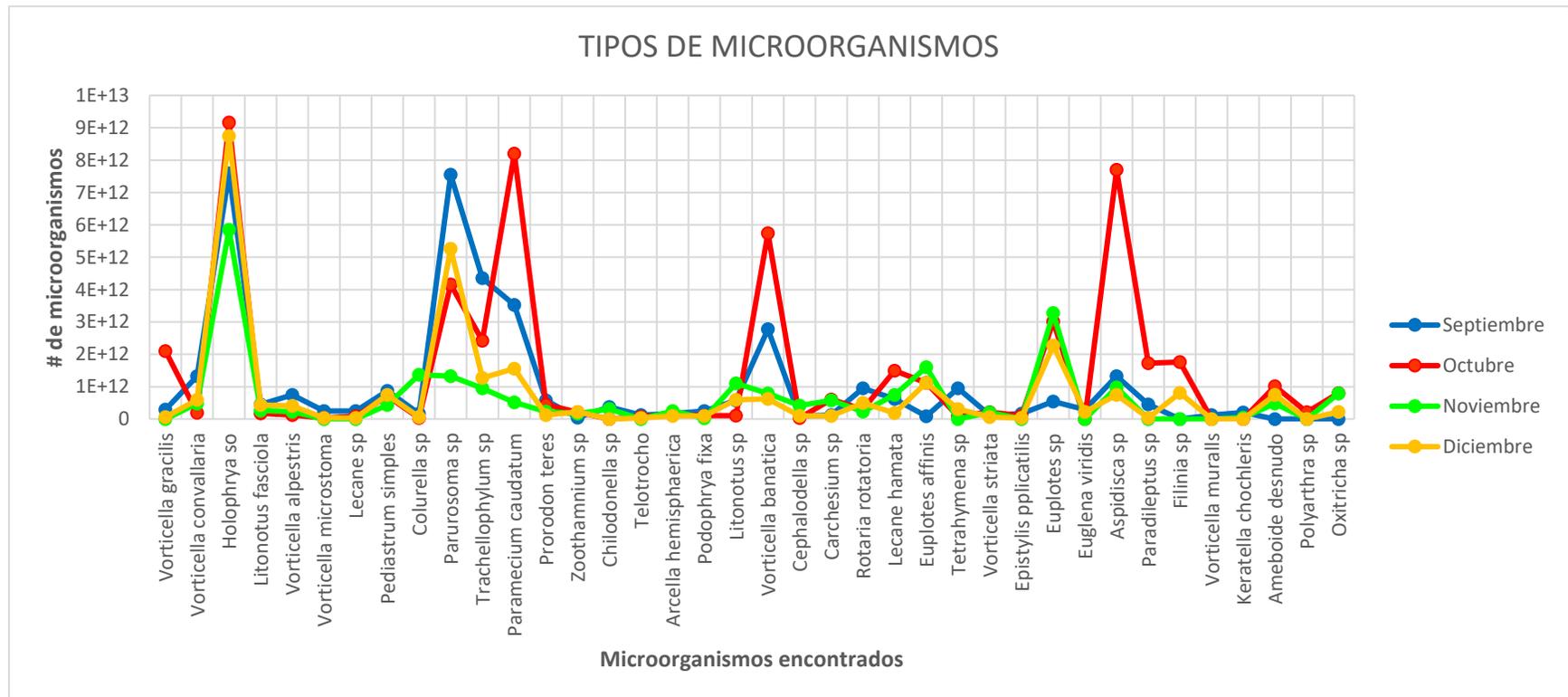


De la gráfica, se puede observar que, a lo largo de los 4 meses mencionados anteriormente, la predominancia de los ciliados es sobresaliente, teniendo que los 3 tipos de ciliados son los que más existen en la laguna, siendo estos:

- Ciliados libres
- Ciliados reptantes
- Ciliados fijos

Generalmente cuando hay presencia de ciliados en un tratamiento de aguas residuales es signo de que se tiene un tratamiento de lodos activados estable, logrando tener un menor grado de turbidez y de DBO, ya que estos degradan gran parte de la materia orgánica contenida en las aguas residuales.

Además, se registraron datos diarios por cada tipo de microorganismo, ya que una vez identificado los 3 tipos de microorganismos predominantes también se pueda saber cuáles son en específico estos, de esta forma conocer más a fondo la función de cada uno de ellos en el tratamiento de lodos activados. A continuación, se presenta la gráfica mencionada, así como los principales microorganismos predominantes en la laguna.

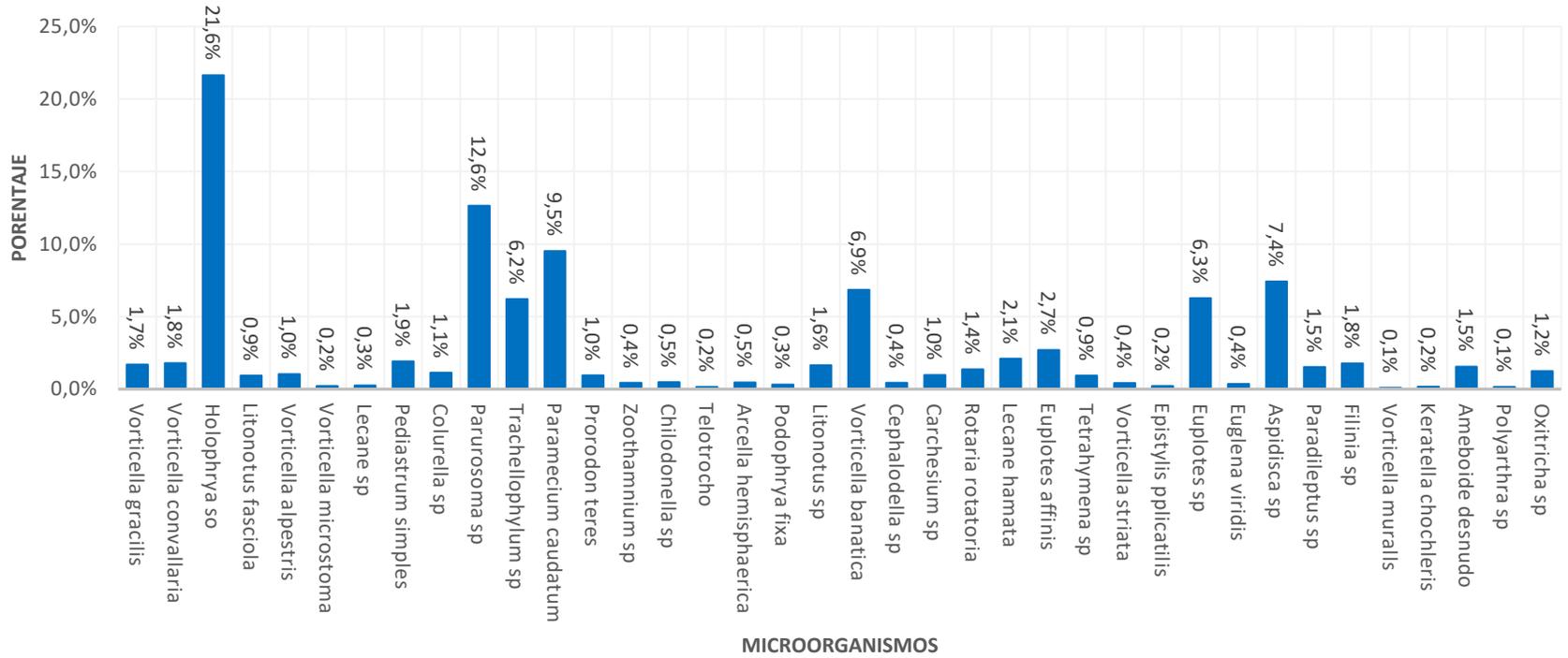


En esta gráfica sobresalen varios microorganismos pertenecientes a los ciliados de los 3 tipos existentes, por lo cual los 10 principales microorganismos predominantes son:

- *Holophrya so*
- *Pediastrum simples*
- *Parurosoma sp*
- *Trachellophylum sp*
- *Paramecium caudatum*
- *Vorticella banatica*
- *Lecane hamata*
- *Euplotes affinis*
- *Euplotes sp*
- *Aspidisca sp*

La siguiente gráfica de barras muestra el porcentaje que representa cada uno de los distintos tipos de microorganismos de la laguna de lodos activados, en donde de esta forma se podrá conocer porcentualmente la predominancia de cada microorganismo, de esta forma se sabrá cual es el que se encuentra en mayor cantidad en el tratamiento biológico y así mismo conocer la función de cada uno de ellos y como aportan al proceso biológico para el tratamiento de las aguas residuales de Bio Pappel S.A. de C.V.

PORCENTAJE DE MICROORGANISMOS EN LA LAGUNA DE LODOS ACTIVADOS



De acuerdo con la gráfica anterior se tiene el siguiente porcentaje de los microorganismos más predominantes de la laguna.

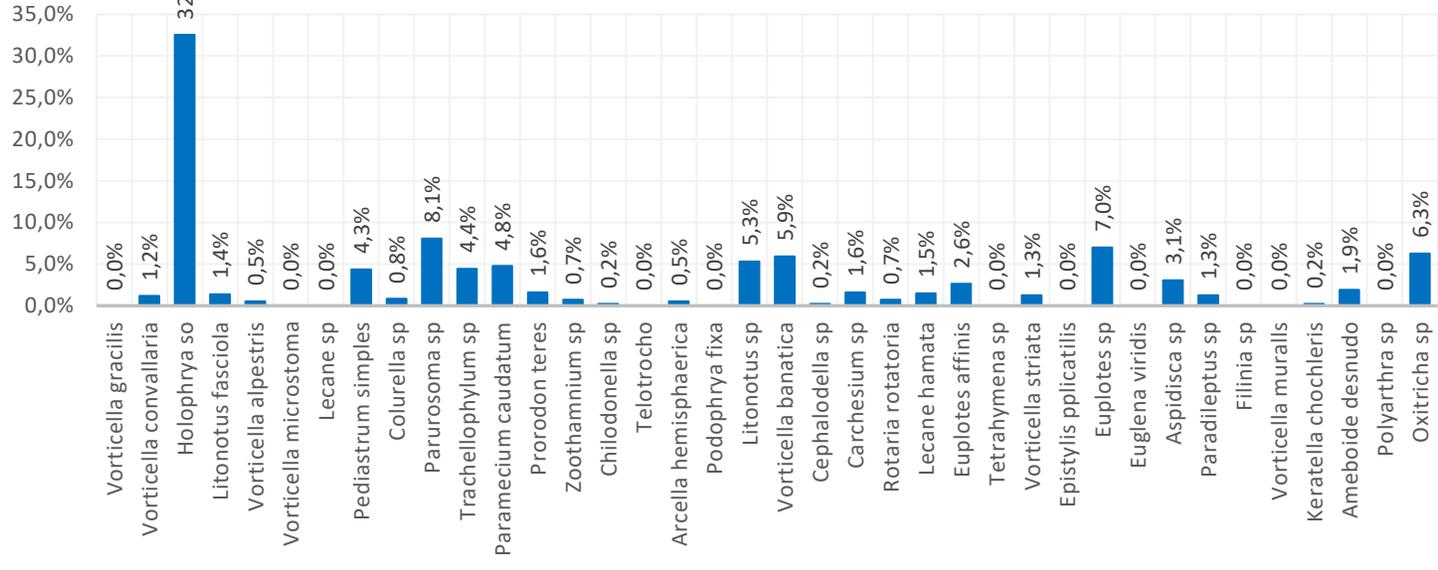
1. *Holophrya* so: 21.6%
2. *Parurosoma* sp: 12.6%
3. *Paramecium caudatum*: 9.5%
4. *Aspidisca* sp: 7.4%
5. *Vorticella banatica*: 6.9%
6. *Euplotes* sp: 6.3%
7. *Trachellophyllum* sp: 6.2%
8. *Euplotes affinis*: 2.7%
9. *Lecane hamata*: 2.1%
10. *Pediastrum simples*: 1.9%

Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, Bio Pappel maneja 4 tipo de producciones distintas:

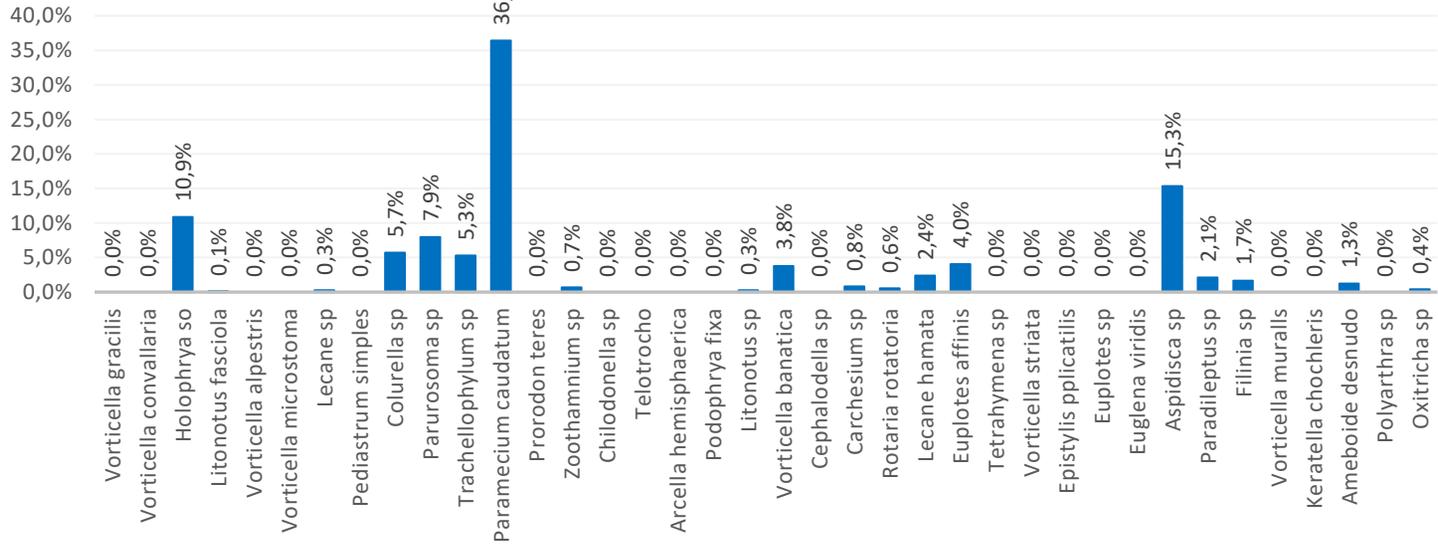
- Premium
- Grocery
- Medium
- Liner

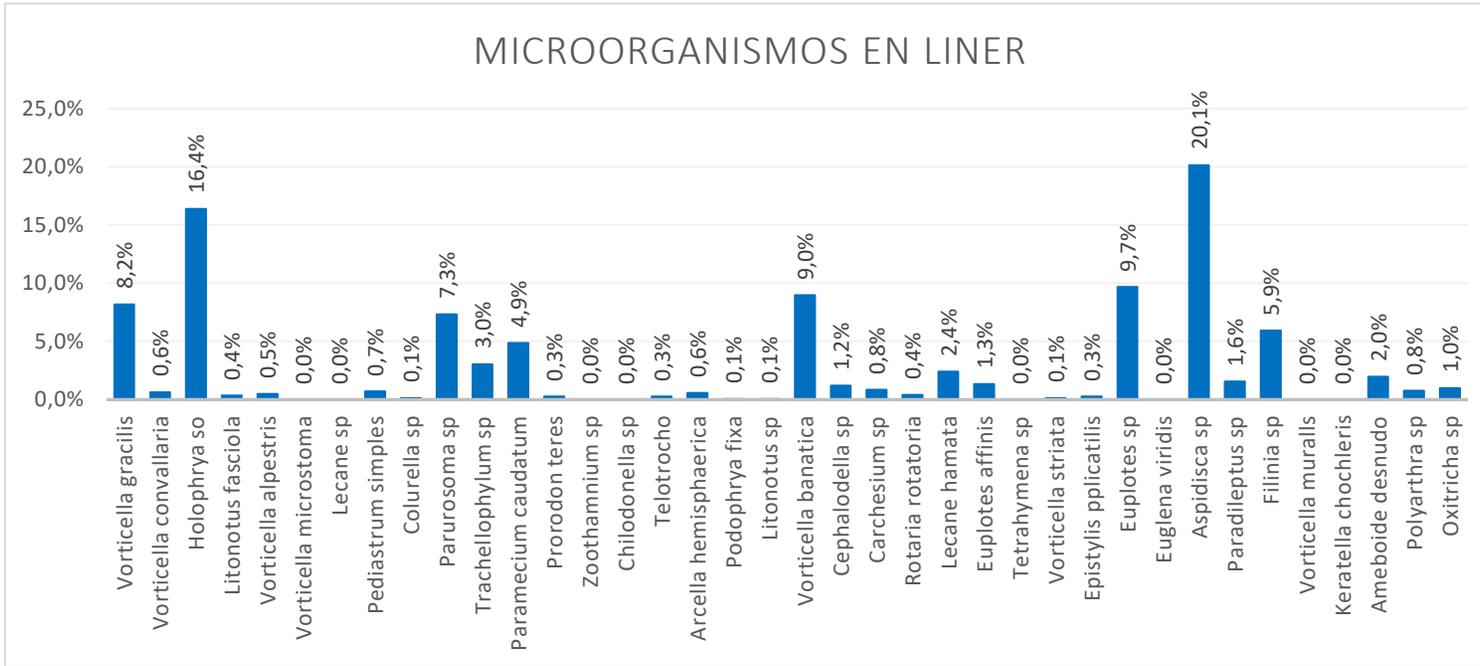
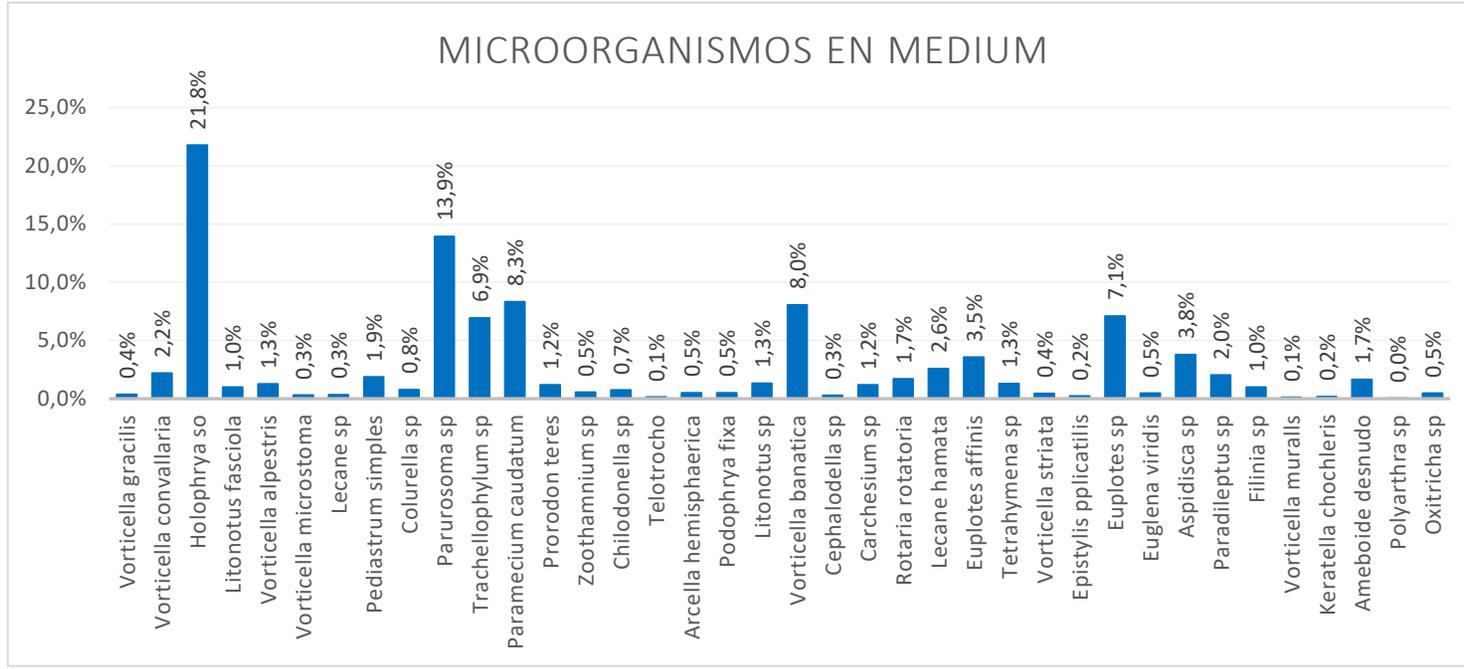
Por lo cual también se obtuvieron las gráficas de la predominancia de los microorganismos de acuerdo con el tipo de producción, para así también conocer los microorganismos predominantes en cada una de ellas, a continuación, se presentan cada una de las gráficas según el tipo de producción.

MICROORGANISMOS EN PREMIUM



MICROORGANISMOS EN GROCERY





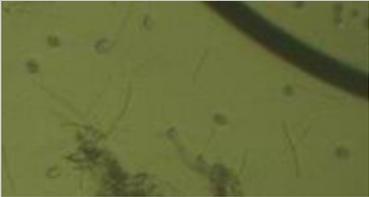
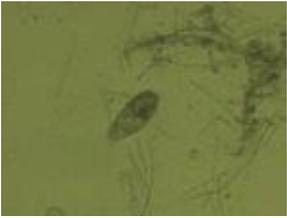
En la siguiente tabla se presentan los 5 principales microorganismos según el tipo de producción.

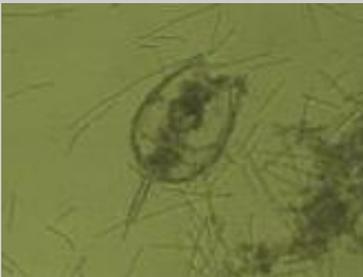
Tabla 5. Principales microorganismos según el tipo de producción.

PRODUCCIÓN	MICROORGANISMOS
Premium	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Holophrya so</i>: 32.5% 2. <i>Parurosoma sp</i>: 8.1% 3. <i>Euplotes sp</i>: 7% 4. <i>Oxitricha sp</i>: 6.3% 5. <i>Vorticella banatica</i>: 5.9%
Grocery	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Paramecium caudatum</i>: 36.4% 2. <i>Aspidisca sp</i>: 15.3% 3. <i>Holophrya so</i>: 10.9% 4. <i>Parurosoma sp</i>: 7.9% 5. <i>Colurella sp</i>: 5.7%
Medium	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Holophrya so</i>: 21.8% 2. <i>Parurosoma sp</i>: 13.9% 3. <i>Paramecium caudatum</i>: 8.3% 4. <i>Vorticella banatica</i>: 8% 5. <i>Euplotes sp</i>: 7.1%
Liner	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Aspidisca sp</i>: 20.1% 2. <i>Holophrya so</i>: 16.4% 3. <i>Euplotes sp</i>: 9.7% 4. <i>Vorticella banatica</i>: 9% 5. <i>Vorticella gracilis</i>: 8.2%

Así mismo se presenta una tabla con los 10 microorganismos predominantes en la laguna de lodos activados junto con la función de cada uno de ellos.

Tabla 6. Predominancia de microorganismos en la PTAR de Bio Pappel S.A. de C.V.

Microorganismos predominantes en la laguna de lodos activados de la PTAR en Bio Pappel Planta Oaxaca	
	<p>1. Holophrya so. Ciliado que presenta una forma ovada, casi esférica. Película celular con campos hexagonales, de cada campo sale un cilio.</p>
	<p>2. Parurosoma sp. Género de ciliados hipotricos con estructura ciliar y de cirros sobre célula elongada, con una prolongación posterior a modo de pequeña cola. Habita aguas con carga orgánica.</p>
	<p>3. Paramecium caudatum. Protozoo ciliado, incluido en el grupo de los Hymenostómidos, con forma muy característica. Se alimenta de bacterias y habita en aguas con elevada carga nutritiva,</p>
	<p>4. Aspidisca sp. Protozoo ciliado, hipotrico que habita reactores biológicos de baja carga.</p>
	<p>5. Vorticella banatica. Protozoo ciliado peritrico, solitario, con labio y disco peristomial fuertemente convexo. Habitan sistemas de lodos activados estabilizados.</p>

	<p>6. <i>Euplotes sp.</i> Protozooario ciliado reptante, incluido en el grupo de los hipotricos. Presenta un número de cirros y estructura celular características del género. Se alimenta de bacterias floculantes y es habitual en los sistemas de lodos activados.</p>
	<p>7. <i>Trachellophylum sp.</i> Protozooario Gymnostómido con células en forma de botella, boca apical y penachos de cilios largos alrededor. Habitan aguas con contaminación orgánica.</p>
	<p>8. <i>Euplotes affinis.</i> Especie de Euplotes con estructura ciliar característica y amplios pliegues dorsales que imprimen en la célula una forma particular. Habita en los reactores de lodos activados.</p>
	<p>9. <i>Lecane hamata.</i> Pequeño rotífero loricado, en el que la forma de su envuelta es oval. Por debajo de la lóriga sobresale del pie un dedo que acaba en punta. En la abertura anterior de la lóriga, el margen de la cara ventral y dorsal adopta una forma cóncava. En dicha abertura, los extremos laterales de la cara ventral se expanden hacia arriba adoptando una forma triangular. La placa dorsal el ligeramente más ancha que la placa ventral.</p>

	<p>10. <i>Pediatrum simples</i>. Los individuos de esta especie presentan células marginales alargadas, con forma triangular y las células centrales se encuentran unidas de forma completa.</p>
---	---

De acuerdo con el trabajo de Bejarano y Escobar (2015) menciona que los principales microorganismos encontrados en una PTAR son las bacterias y protozoarios, de la misma forma en el trabajo de Ortega (2021) menciona específicamente como principales microorganismos encontrados en el periodo enero-junio 2021: *Holophrya* sp, *Parurosoma* sp, *Trachellophyllum* sp, *Chilodonella* sp y *Litonotus fasciola*.

9. Conclusiones

De acuerdo con los resultados presentados se concluye lo siguiente por tipo de producción en cuanto a las pruebas de jarras. Las mejores dosis son:

- Premium: Starcoag, Muestra 3: Catiónico 250 ppm; Aniónico: 1.5 ppm
- Grocery: Starcoag: Muestra 2: Catiónico: 150 ppm; Aniónico: 1 ppm
- Medium: Starcoag: Muestra 3: Catiónico: 250 ppm; Aniónico: 1.5 ppm
- Liner: Starcoag: Muestra 4: Catiónico: 350 ppm; Aniónico: 1.5 ppm

Por lo cual se puede concluir que ***el mejor producto químico es Starcoag con una dosis de catión de 250 ppm y de anión de 1.5 ppm***, el cual puede ser utilizado en las distintas producciones de Bio Pappel, ya que de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-2021 se encuentran los valores de los parámetros dentro de los LMP, y de acuerdo con el impacto en la predominancia de microorganismos en la laguna de lodos impacto no afecta este producto al crecimiento de la población microbiana, a diferencia de NALKAT 7607, ya que se registró que con éste la población de microorganismos disminuyó, en cambio con Starcoag siguió el crecimiento microbiano sin afectarlo significativamente.

Así mismo, por el tipo de microorganismos que predominan en el tratamiento biológico, se concluye que éste se encuentre de manera estable y es efectivo para la disminución de la demanda orgánica de las aguas residuales de acuerdo con las características de cada uno de cada uno de ellos que indica el trabajo de Moeller & Tomasini (2018).

De la misma forma, en la tabla de predominancia de microorganismos de acuerdo con el tipo de producción, se puede concluir que de acuerdo a las características de los microorganismos mencionados en el trabajo de Moeller & Toamsini (2018) en la producción de grocery y medium se encuentra más carga orgánica debido a que se presentan microorganismos que indican esto.

10. Recomendaciones

Se recomienda realizar este proyecto dándole un seguimiento de un año, ya que para realizar un mejor estadístico de predominancia de microorganismos es mejor el monitoreo de un año, ya que los microorganismos también se ven afectados por factores ambientales, de esta forma se tendría una estadística de acuerdo a las estaciones del año.

Así mismo, se sugiere que se siga utilizando como producto químico Starcoag, ya que se presentan excelentes resultados en cuanto a la clarificación de las aguas residuales y al mismo tiempo no afecta el crecimiento bacteriano en la laguna de lodos activados.

11. Experiencia personal adquirida

Gracias a la realización de este proyecto me llevo una buena experiencia profesional, ya que tuve las herramientas necesarias para realizar el proyecto, así como aprender e investigar más sobre temas de microbiología. Así como aprender a manejar distintos equipos de laboratorio necesarios para los análisis de las aguas residuales y a la vez las técnicas que se siguen para dichos análisis.

12. Competencias desarrolladas y/o aplicadas

- Desarrollo en una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que en la universidad cursé la materia de tratamiento de efluentes industriales, sin embargo, nunca tuve la oportunidad de conocer una PTAR por la pandemia.
- Uso y manejo de Excel para recopilar y graficar datos.
- Conocimiento de las Normas Mexicanas por las que se rige una PTAR.
- Conocimiento y funcionamiento de equipos de laboratorio utilizados en el análisis de las aguas residuales.
- Análisis de datos experimentales para poder interpretar cada uno de ellos y así poder analizar, deducir y concluir aspectos del proyecto.

13. Fuentes de información

- 11 beneficios de tener una PTAR. (2020, 26 octubre). CBR Ingeniería. <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/beneficios-tener-una-ptar>
- Bejarano Novoa, M. E., & Escobar Carvajal, M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Lasalle.edu. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1298&context=ing_ambiental_sanitaria
- BELZONA. (2010). Tratamiento de aguas residuales. mapa de la plata. https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- CARTWRIGHT, P. Tratamiento y reúso del agua en aplicaciones comerciales e industriales. Agua Latinoamérica, 2009.
- Huerta Calleja, K. (2022, 22 marzo). El coagulante en el tratamiento de aguas residuales. CONTYQUIM. <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20coagulaci%C3%B3n%3F,cargas%20de%20las%20impurezas%20coloidales.>
- INCYTU. (2019, enero). Tratamiento de aguas residuales. Foro consultivo científico y tecnológico. https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf
- Industria papelera. (2021). Universidad de Sonora. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19925/Capitulo1.pdf>
- INTRODUCCIÓN AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. (2012, 6 abril). ingeniería química.org. <http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/introduccion-tratamiento-aguas-residuales>
- Lorenzo Acosta, Y. (2006, 2 agosto). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (2015). CONAGUA. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro46.pdf>
- Marcela Fúquene, D., & Viviana Yate, A. (2017). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. ECAPIMA. <https://hemeroteca.unad.edu.com>

- Marcos, L. (2020). Coagulación y floculación. CEUPE Magazine. <https://www.ceupe.com/blog/coagulacion-y-floculacion.html#:~:text=La%20optimizaci%C3%B3n%20del%20proceso%20de,disminuye%20el%20rendimiento%20del%20proceso.>
- Moeller, G. & Tomasini Ortíz, A. C. (2018). Microbiología de lodos activados. Academia.edu.
- Prueba de jarras. (2023). ISA. <https://isa.ec/prueba-de-jarras/>
- Rodríguez de Jorge, L. (2020, 15 diciembre). El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes. iagua. <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Tratamientos terciarios. (2016). Hidritec. <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamientos-terciarios>
- USON. (2015, diciembre). Tratamiento de aguas residuales en industria papelera. Biblioteca digital USON. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19925/Capitulo1.pdf>

14. Anexos

Anexo 1. Glosario de siglas y unidades

Tabla 7. Glosario de siglas y unidades.

Unidades o siglas	Significado
DBO₅/SSLM-día	Demanda Bioquímica de Oxígeno determinada a los 5 días por los sólidos suspendidos en el licor mezclado al día
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FAU	Unidad de Atenuación de Formacina
F/M	(Food to Mass ratio) o relación alimento/microorganismos
KW	Kilovatio
LM	Licor mezclado
LMP	Límite Máximo Permisible
m³	Metros cúbicos
m³/d	Metros cúbicos por día
m³/h	Metros cúbicos por hora
m⁻¹	Un metro a la potencia menos uno
mg/L	Miligramos por litro
mm	Milímetros
N	Nitrógeno
nm	Nanómetro
P	Fósforo
ppm	Partes por millón
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RAS	Recirculation of Activated Sludge/Recirculación de Lodos Activados
rpm	Revoluciones por minuto
SCADA	Tipo cascada
scfm	Pies cúbicos por minuto
scfm/panel	Pies cúbicos por minuto por panel
SST	Sólidos Suspendidos Totales
V	Voltios

Anexo 2. Evidencia fotográfica de pruebas de jarras.



Ilustración 7. Prueba de jarras con Starccoag.



Ilustración 8. Pruebas de jarras con AC 1220.



Ilustración 9. Prueba de jarras con NALKAT 7607.

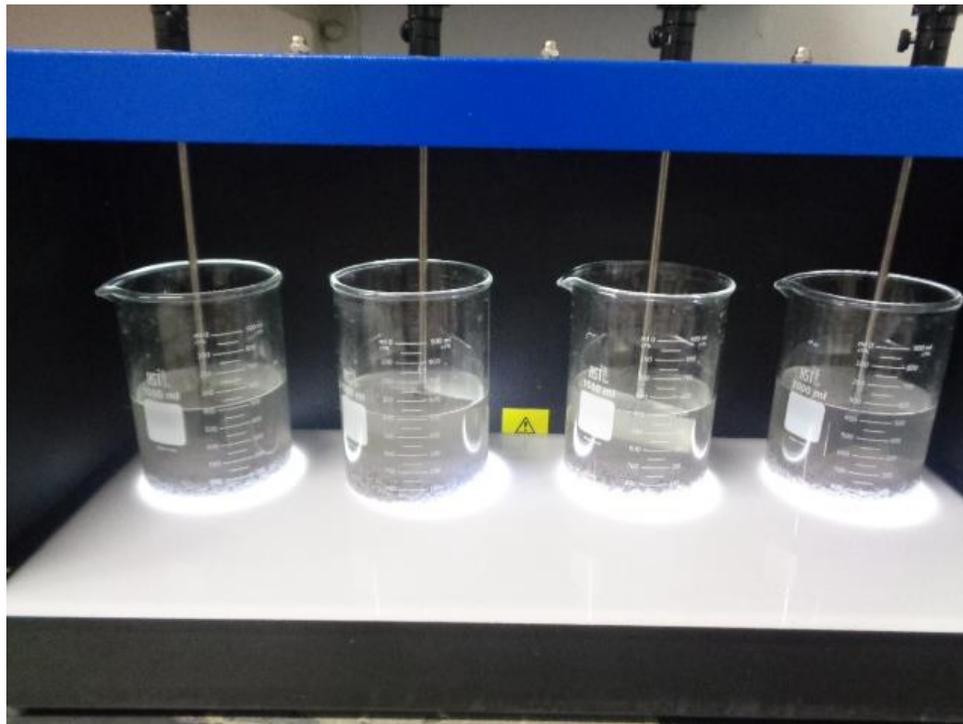


Ilustración 10. Prueba de jarras en producción premium.

Anexo 3. Microorganismos encontrados en la laguna de lodos activados de la PTAR de Bio Pappel S.A de C.V.

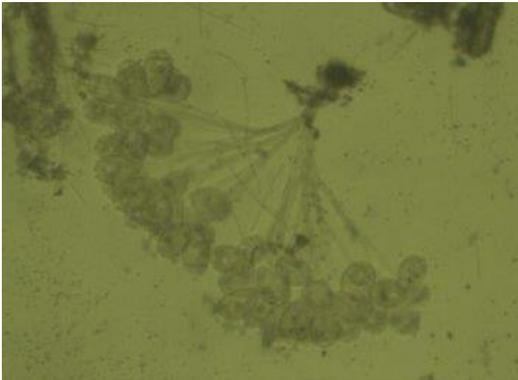


Ilustración 12. Zoothamnium sp.



Ilustración 11. Rotaria rotatoria.



Ilustración 14. Filinia sp.

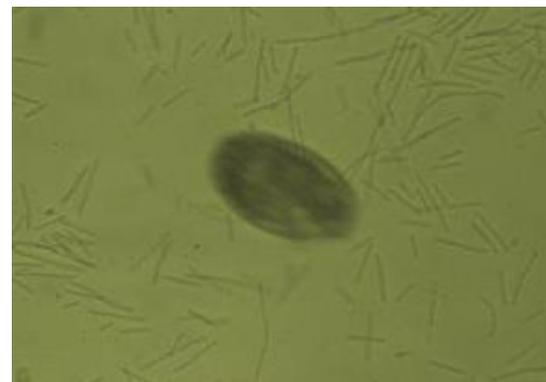


Ilustración 13. Prorodon teres.



Ilustración 15. Polyarthra sp.

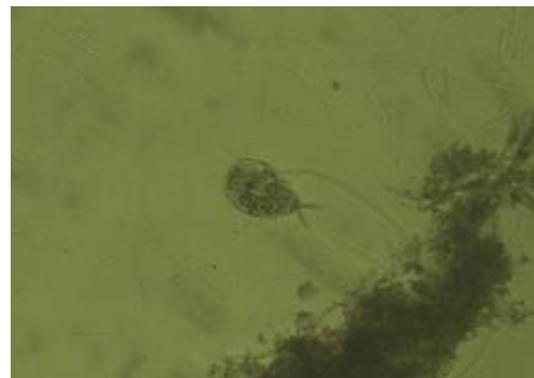
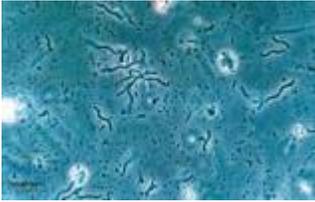
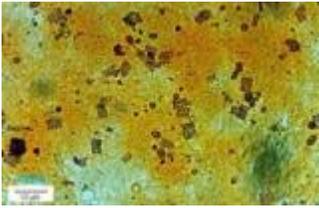
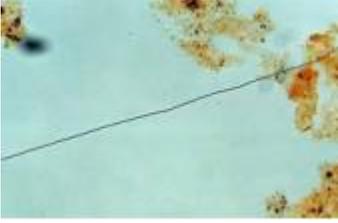
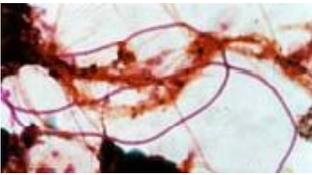


Ilustración 16. Lecane sp.

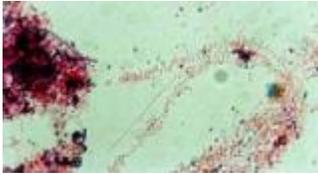
Anexo 4. Manual de microorganismos de una PTAR.

a) Bacterias bioindicadoras

	<p><i>Gallionella sp.</i> Colonia bacteriana constituida por células reniformes, que en el extremo incurvado segregan un hidróxido de hierro coloidal que da lugar a pedúnculos muy delicados, fácilmente quebradizos, retorcidos a modo de trenza. Indicador de hierro disuelto y reducido en el medio.</p>
	<p><i>Spirillum sp.</i> Bacterias móviles helicoidales con forma de bacilos largos y espiralados. Habitan medios con baja concentración de oxígeno disuelto.</p>
	<p><i>Spirocheta sp.</i> Bacteria en forma de filamento enrollado en hélice sobre si mismo. Habita medios con materia orgánica disuelta.</p>
	<p><i>Thiopedia sp.</i> Colonia bacteriana constituida por células de tipo cocal, que forma agregados aplanados, desde pocas células a miles de ellas. Las masas celulares extensas son de color rosa claro, como consecuencia de la clorofila bacteriana y carotenoides. Se desarrolla perfectamente en presencia de ácido sulfhídrico.</p>
	<p><i>Zooglea ramígera.</i> Se denomina así, a la agrupación de distintas especies de bacterias, en forma de dedo, de arbolito o de astas. Las bacterias son formas bacilares, insertas en mucílago gelatinoso, traslúcido, y participan en los procesos de floculación.</p>

	<p><i>Beggiatoa sp.</i> Bacteria filamentosa constituida por filamentos rectos, activamente móviles por deslizamiento y a partir de pequeñas sacudidas. Habitualmente presenta acumulaciones de azufre, en forma de gránulos esféricos. No disponen de vaina, ni crecimiento epífito asociado. Esta bacteria es Gram y Neisser negativo.</p>
	<p><i>Microthrix parvicella.</i> Bacteria constituida por filamentos largos y finos, que crecen atravesando la estructura de los flóculos. No presentan ramificaciones ni vaina. Desarrollan respuesta positiva a la tinción de Gram y gránulos Neisser positivos.</p>
	<p><i>Nocardia sp.</i> Especie de bacteria filamentosa perteneciente al grupo de las microbacterias, constituida por filamentos cortos, irregularmente formados y muy ramificados. No presentan vaina exterior. Filamento. Gram positivo y Neisser negativos.</p>
	<p><i>Nostocoida limicola II.</i> Bacteria filamentosa constituida por filamentos curvados e irregularmente enrollados. Se observan septos celulares claros y células ovales. Presentan reacción variable ente las tinciones de Gram y Neisser.</p>
	<p><i>Nostocoida limicola III.</i> Filamentosa muy similar a la anterior, con diámetro mayor y respuesta siempre positiva a las tinciones de Gram y Neisser. La coloración de la tinción de Neisser es característica de este filamento.</p>
	<p><i>Sphaerotillus natans.</i> Bacteria filamentosa relativamente larga, delgada, recta o débilmente curvada, compuesta de células redondeadas, y con una fina vaina que recubre el filamento. No presenta ramificaciones y cuando existen son falsas, sin citoplasma contiguo. Son Gram y Neisser negativos.</p>

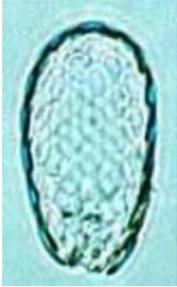
	<p><i>Streptococcus sp.</i> Bacteria filamentosas cortas, compuestas por una cadena de células redondeadas. Se suele encontrar libre en la solución del aglomerado, alrededor de los flóculos.</p>
	<p><i>Thiothrix I.</i> Filamento recto o ligeramente curvado que se proyecta desde el flóculo. Presenta gránulos de azufre con forma esférica “in situ”. Las células son rectangulares, con un diámetro del tricoma entre 1.4 y 2.5 micras.</p>
	<p><i>Thiothrix II.</i> De características similares a la anterior, se diferencian en el diámetro del tricoma que en este caso varía entre las 0.8 y 1.4 micras.</p>
	<p><i>Tipo 0041.</i> Filamento recto o ligeramente curvado de grandes dimensiones. Puede presentar abundante crecimiento epifítico que dificulta la observación de sus células con forma rectangular o cuadrada.</p>
	<p><i>Tipo 0092.</i> Presenta tricomas cortos, insertos en los flóculos, que normalmente no se observan en vivo. Desarrollan tinción de Neisser con coloración característica.</p>
	<p><i>Tipo 021N.</i> Tricomas rectos, suavemente curvados o en madejas. La forma de las células va de ovoide a rectangular o en forma de barril. La morfología celular puede ser variable en el mismo filamento.</p>

	<p>Tipo 0914. Bacteria filamentosa constituida por filamentos rectos o curvados e inmóviles. Los filamentos no presentan vaina ni ramificaciones. Las células son cuadradas o rectangulares y no presentan constricciones.</p>
	<p>Tipo 1701. Bacteria filamentosa constituida por individuos de longitud variable, inmóviles y a veces ligeramente curvados. Presentan un abundante crecimiento epifito que dificulta la observación de las células. Las células son bacilares y los filamentos Gram y Neisser negativos.</p>
	<p>Tipo 1863. Filamento formado por células cocobacilares unidas entre sí, en forma de tricoma en forma de rosario. Usualmente se encuentran libres en el licor mezclado y son Gram negativas, con gránulos Neisser positivos.</p>

b) Protozoarios

Amoebas

	<p>Ameboide desnudo. Individuo de forma indefinida, sin caparazón o teca, cuya emisión de pseudópodos es variable en el cuerpo. Se alimentan de bacterias y materia orgánica del medio.</p>
---	--

	<p><i>Arcella hemisphaerica</i>. Amiba con teca circular que rodea la célula. Presenta un agujero ventral, por el que el individuo emite los pseudópodos. Se desarrolla masivamente en medios donde se producen procesos de nitrificación.</p>
	<p><i>Euglypha alveolata</i>. Amiba con teca abombada. Esta teca presenta un agujero ventral por el que se emiten los pseudópodos.</p>

Suctoria

	<p><i>Acineta tuberosa</i>. Esta especie agrupa individuos de forma cónica cuya célula se encuentra rodeada por una lórica. Los tentáculos se agrupan en fascículos, situados a ambos lados del cuerpo.</p>
	<p><i>Periacineta sp.</i> Este género agrupa individuos parecidos a Acineta. El pedúnculo es más corto y la lórica se encuentra separada de la célula, desarrollando pliegues transversales.</p>

	<p><i>Podophrya fixa</i>. Especie constituida por individuos de forma esférica, que desarrollan un pedúnculo mediante el cual se fijan a un sustrato. La célula desarrolla tentáculos repartidos por toda su superficie. Habitan aguas con presencia de materia orgánica.</p>
---	--

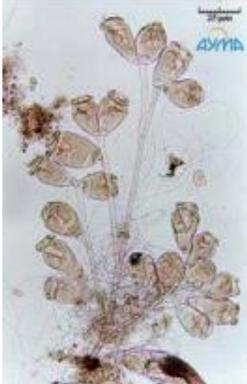
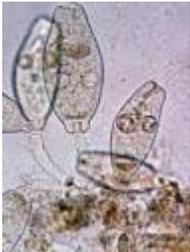
Ciliados libres

	<p><i>Chilodonella sp.</i> Protozoo ciliado, incluido en el grupo de los Gymnostómidos, que se alimenta de bacterias y se desarrolla en medios con cierta carga de materia orgánica.</p>
	<p><i>Coleps hirtus</i>. Protozoo ciliado de forma característica, posee placas de carbonato de calcio con estructura típica de la especie. Habitan medios con sustancias en descomposición.</p>
	<p><i>Holophrya sp.</i> Ciliado que presenta una forma ovada, casi esférica. Película celular con campos hexagonales, de cada campo sale un cilio.</p>
	<p><i>Litonotus sp.</i> Protozoo ciliado que habita en reactores de lodos activados y aguas eutróficas. Especie depredadora que se alimenta de pequeños flagelados y ciliados.</p>

	<p>Litonotus fasciola. Especie característica por su esbeltez, presentando un cuello largo. Habita aguas con menor grado de contaminación orgánica que el resto de las especies del género Litonotus.</p>
	<p>Paradileptus sp. Género Gymnostómido que agrupa individuos característicos por su célula redondeada, desarrollando una trompa móvil en cuya base se encuentra la boca.</p>
	<p>Paramecium caudatum. Protozoo ciliado, incluido en el grupo de los Hymenostómidos, con forma muy característica. Se alimenta de bacterias y habita en aguas con elevada carga nutritiva.</p>
	<p>Prorodon teres. Protozoo ciliado del grupo Gymnostómido que se alimenta de bacterias y pequeñas algas. Esta especie tolera altos rangos de salinidad.</p>
	<p>Spirostomum sp. Protozoario ciliado perteneciente al grupo de los Spirotrichidos, con forma y estructura celular muy particular. Muchas de estas especies habitan aguas intensamente contaminadas.</p>
	<p>Tetrahymena sp. Protozoario Hymenostómido, de pequeño tamaño, con célula periforme característica. Habitan aguas con cierta contaminación orgánica.</p>

	<p><i>Trachellophylum sp.</i> Protozooario Gymnostómido con células en forma de botella, boca apical y penachos de cilios largos alrededor. Habitan aguas con contaminación orgánica.</p>
---	--

Ciliados fijos

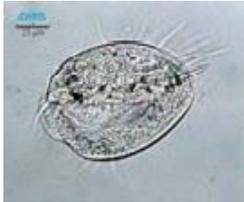
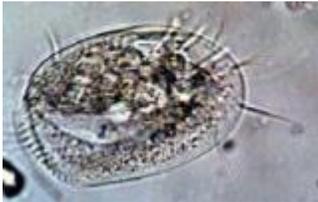
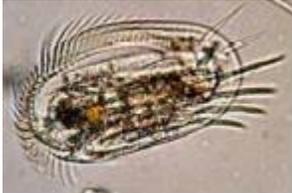
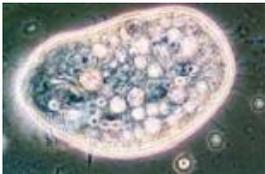
	<p><i>Carchesium sp.</i> Protozooario colonial, que se fija mediante un pedúnculo contráctil. Los mionemas son discontinuos, y cada ramificación con sus individuos se contrae de forma independiente.</p>
	<p><i>Epistylis pplicatilis.</i> Protozooario colonial, fijo a sustratos mediante pedúnculo no contráctil. Esta especie forma amplias colonias, con células grandes. Son habituales en los sistemas de lodos activados con un buen funcionamiento.</p>
	<p><i>Opercularia sp.</i> Protozooario ciliado peritrico, colonial, fijo a sustratos mediante pedúnculo no contráctil. Esta especie se desarrolla en medios con elevada carga de materia orgánica y baja concentración de oxígeno disuelto, así como en presencia de vertidos industriales.</p>

	<p>Telotrocho. Fase de dispersión de los ciliados fijos peritricos. Son células móviles con una corona de cilios en la parte posterior.</p>
	<p>Vorticella alpestris. Célula solitaria, pequeña, con diámetro del labio peristomal similar a la máxima anchura del cuerpo. Macronúcleo en forma de J y vacuola contráctil encima del centro de la célula.</p>
	<p>Vorticella banatica. Protozooario ciliado peritrico, solitario, con labio y disco peristomal fuertemente convexo. Habitan sistemas de lodos activados estabilizados.</p>
	<p>Vorticella convallaria. Protozooario solitario, fijo al sustrato mediante pedúnculo contráctil. La célula tiene forma de campana invertida. Habita medios con cierta cantidad de materia orgánica y se desarrolla en sistemas de lodos activados cuando su funcionamiento es estable.</p>
	<p>Vorticella gracillis. La célula solitaria se inclina de forma característica sobre el pedúnculo. El disco peristomial es plano y se eleva oblicuamente.</p>

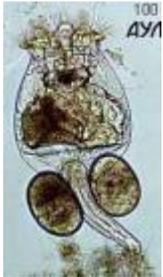
	<p><i>Vorticella microstoma</i>. Protozooario ciliado peritrico, solitario, fijo a sustratos mediante un pedúnculo contráctil. Habita aguas intensamente contaminadas en materia orgánica y fases transitorias de la estabilización de los sistemas de lodos activados.</p>
	<p><i>Vorticella muralls</i>. Con estructura y dimensiones celulares características de la especie. Se alimenta de las bacterias presentes en el medio.</p>
	<p><i>Vorticella striata</i>. Vorticela de pequeño tamaño, con una película celular estriada cuya Inter.-estriás son cóncavas.</p>
	<p><i>Zoothamnium sp.</i> Protozooario ciliado colonial, fijo mediante un pedúnculo contráctil, con mionema continuo, donde todas las ramificaciones del tallo con sus individuos se contraen al mismo tiempo.</p>

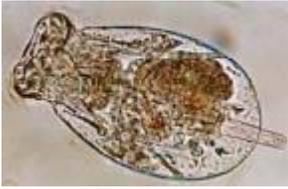
Ciliados reptantes

	<p><i>Aspidisca sp.</i> Protozooario ciliado, hipotrico que habita reactores biológicos de baja carga.</p>
---	---

	<p><i>Euplotes sp.</i> Protozooario ciliado reptante, incluido en el grupo de los hipotricos. Presenta un número de cirros y estructura celular características del género. Se alimenta de bacterias floculantes y es habitual en los sistemas de lodos activados.</p>
	<p><i>Euplotes aediculatus.</i> Especie de Euplotes con estructura ciliar característica. Habita en agua dulce.</p>
	<p><i>Euplotes affinis.</i> Especie de Euplotes con estructura ciliar característica y amplios pliegues dorsales que imprimen en la célula una forma particular. Habita en los reactores de lodos activados.</p>
	<p><i>Euplotes harpa.</i> Especie de Euplotes con ciliación y estructura característica de la especie. Habita aguas con elevada salinidad.</p>
	<p><i>Euplotes patella.</i> Especie de Euplotes con ciliación y estructura característica de la especie. Habita aguas dulces.</p>
	<p><i>Oxitricha sp.</i> Género de ciliados hipotricos con estructura ciliar y de cirros más primitiva que la del género Euplotes. Habita aguas con carga orgánica.</p>
	<p><i>Parurosoma sp.</i> Género de ciliados hipotricos con estructura ciliar y de cirros sobre célula elongada, con una prolongación posterior a modo de pequeña cola. Habita aguas con carga orgánica.</p>

Rotíferos

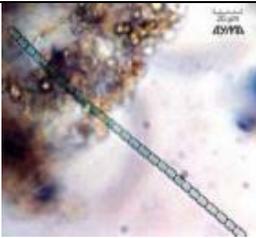
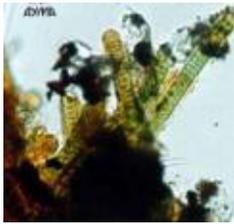
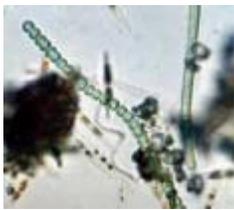
	<p><i>Brachionus angularis</i>. Organismo con forma característica, cuya cutícula desarrolla un caparazón torácico. El pié presenta anillos y no se encuentra dividido en elementos. El borde anterior del caparazón se prolonga en espinas.</p>
	<p><i>Cephalodella sp.</i> Individuo con caparazón formado por 4 a 5 placas separadas por hendiduras longitudinales. Los dedos son más largos que el pié blando. El órgano rotatorio se encuentra en posición oblicua. Alrededor de la boca presenta penachos de cilios rígidos.</p>
	<p><i>Colurella sp.</i> Este organismo presenta un escudo cefálico en forma de gancho, retráctil. El caparazón se encuentra lateralmente comprimido parecido a las valvas de un molusco.</p>
	<p><i>Filinia sp.</i> Rotífero carente de caparazón y pié. Presenta tres apéndices setiformes saltadores. Los individuos de este género se mueven de forma deslizante. Tiene dos ojos rojos, El órgano rotatorio se encuentra constituido por una corona marginal de cilios.</p>
	<p><i>Keratella chochleris</i>. Rotífero carente de pié, con caparazón dividido en campos, abombado por el lado dorsal, aplanado o ligeramente curvado hacia adentro en el lado ventral. Las formas primaverales presentan largas espinas posteriores.</p>
	<p><i>Lecane sp.</i> Microorganismo que presenta caparazón con dos placas, pié corto y ancho, con un solo elemento libre, que surge del lado ventral del caparazón. Presenta uno o dos dedos. Con frecuencia se fija con los dedos y nada alrededor del punto de fijación.</p>

	<p>Philodina so. Individuo que se caracteriza por presentar dos manchas oculares detrás del palpo dorsal, sobre el cerebro. La cutícula torácica es fina y lisa. El pié tiene cuatro dedos.</p>
	<p>Platyas sp. Este tipo de rotífero presenta un caparazón prácticamente cuadrado, sin espinas, pero con prolongaciones. El pié se encuentra formado por tres elementos.</p>
	<p>Polyarthra sp. Género planctónico cuyo cuerpo no presenta pié. Desarrolla cuatro penachos de tres aletas torácicas cada uno. El organismo tiene un ojo cerebral de color rojo oscuro.</p>
	<p>Rotaria rotatoria. Rotífero con cutícula lisa, palpo dorsal corto y tronco adelgazado paulatinamente hacia el pié. El individuo es opaco a veces de color blanquecino.</p>
	<p>Testudinella sp. Rotífero que presenta un caparazón transparente y aplanado. Su aparato masticador trabaja moliendo y masticando el alimento filtrado. Desarrolla un pie móvil con un penacho de cilios en el extremo, dos ojos y musculatura longitudinal estriada.</p>
	<p>Trichotria pocillum. Especie con cabeza, tronco y pié cubierto con caparazón grueso de bordes agudos. La cabeza es retráctil y está protegida por placas. El pié tiene dos largos dedos.</p>

	<p><i>Lecane hamata</i>. Pequeño rotífero loricado, en el que la forma de su envuelta es oval. Por debajo de la lóriga sobresale del pie un dedo que acaba en punta. En la abertura anterior de la lóriga, el margen de la cara ventral y dorsal adopta una forma cóncava. En dicha abertura, los extremos laterales de la cara ventral se expanden hacia arriba adoptando una forma triangular. La placa dorsal es ligeramente más ancha que la placa ventral.</p>
---	--

c) Microalgas

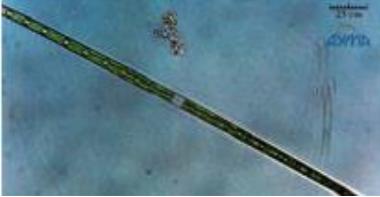
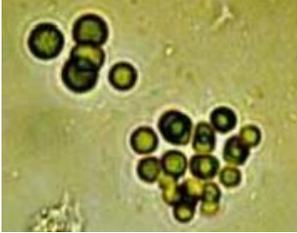
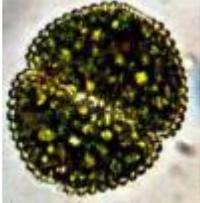
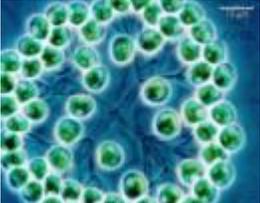
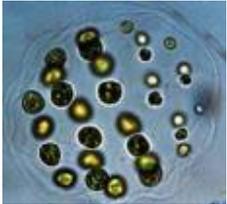
Cianofíceas/Cyanophyta

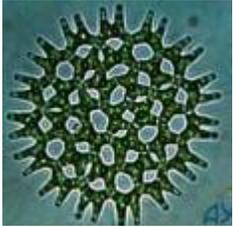
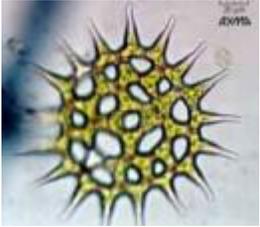
	<p><i>Anabaena sp.</i> Forma filamentosamente solitaria, que a veces se encuentra inserta en masas gelatinosas. Los filamentos son rectos o ligeramente curvados. Las células son esféricas o en forma de tonel.</p>
	<p><i>Lyngbya sp.</i> Filamentos largos, curvados, agrupados en haces de color verde-azulado. Los filamentos pueden presentar vainas gruesas, incoloras, que se pegan entre sí, sin formar un mucílago.</p>
	<p><i>Nostoc sp.</i> Talos filamentosos con capa exterior gelatinosa. Las células son esféricas. Cuando los talos se desarrollan masivamente, dan aspecto de masas gelatinosas de color oscuro.</p>
	<p><i>Oscillatoria limosa</i>. Talos de coloración verde oscuro, libres o sésiles. Filamentos rectos, no estrangulados en las paredes laterales, finamente granuladas. Las células son anchas, de forma discoidal.</p>

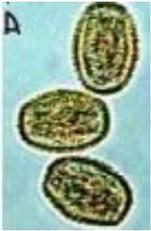
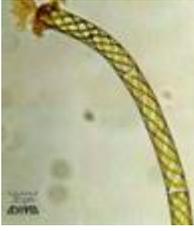
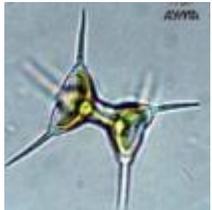
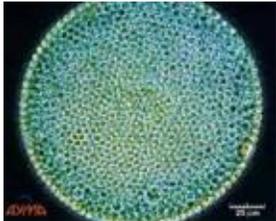
	<p><i>Oscillatoria rubescens</i>. Microalga filamentososa que presenta un tono ligeramente rosado. Las células terminales desarrollan extremos gradualmente apuntados, presentando una especie de caperuza.</p>
	<p><i>Oscillatoria tenuis</i>. Talo de color verde-azulado. Los filamentos son rectos, con extremos no apuntados. Las células son en general cuadradas, siendo las terminales ligeramente cónicas.</p>
	<p><i>Tolypóthrix lanata</i>. Talo formado por filamentos de hasta dos centímetros de longitud, con frecuentes pseudoramificaciones. Las células son cuadradas de color verde azulado.</p>

Cloroficeas/Chlorophyta

	<p><i>Chaetophora elegans</i>. Los talos pueden alcanzar tamaños de cm, y son de color verde claro. A partir de una base de células laxamente unidas o de cortos filamentos surgen las ramificaciones.</p>
	<p><i>Chlamydomonas angulosa</i>. Células elípticas anchas. La membrana forma una ancha papila en la parte anterior celular. Cloroplasto con pirinoide cuadrangular. Mancha ocular grande en forma de bastón.</p>
	<p><i>Chlamydomonas ehrenbergi</i>. Células don forma de irregular a ovadas. Membrana delicada, que puede estar algo separadas del borde del citoplasma. Los flagelos parten de una pequeña protuberancia cutánea. Mancha ocular en el centro de la célula.</p>

	<p><i>Chlamydomonas reinhardi</i>. Células casi esféricas. Membrana no engrosada en una papila anterior. Cloroplasto con un gran pirinoide. Mancha ocular grande.</p>
	<p><i>Closteriosis sp.</i> Células solitarias, libres, fusiformes y muy alargadas, puntiagudas en los dos extremos y desprovista de vaina gelatinosa. Presentan un plasto parietal con numerosos pirinoides.</p>
	<p><i>Coelastrum sp.</i> Microalga colonial, formada por colonias de 8 a 128 células, puede ser globosa, hueca o esférica. Las células se encuentran unidas por finas superficies gelatinosas.</p>
	<p><i>Cosmarium botrytis</i>. Células solitarias con un profundo surco que las divide en dos hemi-células. La superficie se encuentra cubierta de pequeñas verrugas que le dan un aspecto característico.</p>
	<p><i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>. Colonias insertas en una masa gelatinosa claramente delimitada. Las células son ovaladas en disposición periférica y están unidas entre si mediante cordones gelatinosos.</p>
	<p><i>Eudorina elegans</i>. Microalga colonial compuesta de células flageladas insertas en una vaina gelatinosa común.</p>

	<p><i>Pandorina morum.</i> Colonia, aproximadamente esférica, compuesta de 16 células flageladas de forma triangular abombada, insertas en una vaina gelatinosa común.</p>
	<p><i>Pediastrum duplex.</i> Microalga colonial con forma muy característica. Se diferencia de otras especies del mismo género en las amplias lagunas existentes entre las células centrales. Las células marginales son profundamente recortadas, sólo fusionadas en la base, y presentan dos lóbulos muy prolongados.</p>
	<p><i>Pediastrum clathratum.</i> Especie de Pediastrum característica por presentar amplias lagunas entre las células centrales de la colonia. Las células marginales son triangulares, unidas por la base.</p>
	<p><i>Pediastrum simplex.</i> Los individuos de esta especie presentan células marginales alargadas, con forma triangulas y las células centrales se encuentran unidas de forma completa.</p>
	<p><i>Scenedesmus quadricauda.</i> Individuo colonial, constituido por 4, 8 ó 12 células. Las células centrales son alargadas y sin apéndices, las terminales, se abomban en el centro y presentan dos espinas que se proyectan hacia el exterior.</p>

	<p><i>Siderocells sp.</i> Especie que agrupa individuos con células elípticas que presentan numerosas verrugas pardas en su exterior. El color pardo se debe a la inclusión de sales de hierro.</p>
	<p><i>Spirogyra sp.</i> Microalga filamentosa con cloroplastos espiralados en doble hélice que recorren todo el tricoma.</p>
	<p><i>Staurostrum paradoxum.</i> Las células, tri-radiadas o tetraradiadas, presentan tamaño mediano y apéndices divergentes, provistos de pequeños dientes y terminados en pequeñas espinas.</p>
	<p><i>Staurodesmus sp.</i> Incluye células solitarias, presentan una profunda constricción y una membrana lisa. La vista apical tiene un contorno elíptico o estrellado de 3, 4 ó 5 brazos con una espina.</p>
	<p><i>Volvox aureus.</i> Colonia esférica, gelatinosa, con las células situadas en la periferia. Vistas por encima, las células son circulares y se comunican entre si mediante filamentos plasmáticos muy finos.</p>

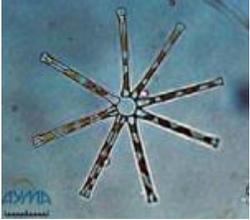
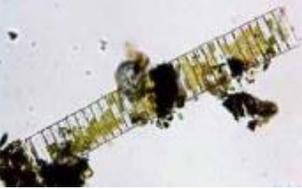
Criptoficeas/Cryptophyta

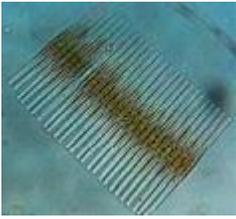
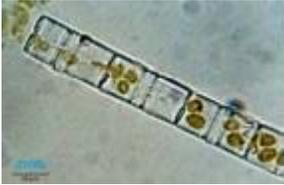
	<p><i>Cryptomonas sp.</i> Células emarginadas en la parte anterior, más delgadas en la posterior, con la cara ventral plana y la dorsal abombada. Presentan dos cloroplastos y dos flagelos de igual longitud.</p>
	<p><i>Cryptomonas erosa.</i> Las células son fuertemente emarginadas en la parte anterior.</p>

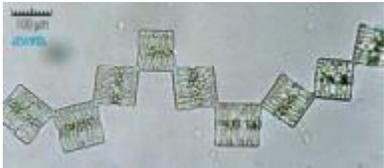
Crisoficeas/Cryptophyta

	<p><i>Dinobryon divergens.</i> Individuo colonial de células sésiles con caparazones en forma de embudo. Las tecas se insertan unas a otras y se encuentran dilatadas en el centro, con la parte basal cónica.</p>
---	---

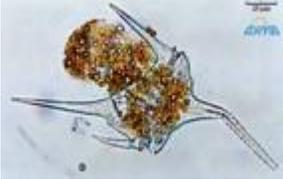
Diatomeas/Diatoms

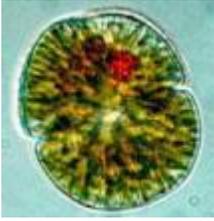
	<p><i>Asterionella formosa.</i> Diatomea que forma colonias estrelladas de unas 8 células. Cada célula presenta un lado pleural, más ancho en los extremos. Las valvas son muy estrechas con los extremos algo abultados.</p>
	<p><i>Diatoma hiemale.</i> Diatomeas coloniales que forman cintas muy largas y densas. Las valvas son lanceoladas, lineales y elípticas. Presenta costillas robustas e irregulares.</p>

	<p><i>Fragilaria crotonensis</i>. Diatomea de células dilatadas en el centro que se unen formando cintas curvadas y retorcidas. Las valvas son muy estrechas y presentan sutiles estrías transversales.</p>
	<p><i>Gomphonema sp.</i> Género de diatomeas que agrupa células cuyas caras pleurales son cuneiformes. Las células se pueden encontrar fijas a sustratos mediante pedúnculos gelatinosos simples.</p>
	<p><i>Melosira granulata</i>. Diatomea colonial que forma cadenas largas y rígidas de células cilíndricas. Las superficies terminales de las valvas presentan un punteado irregular.</p>
	<p><i>Melosira varians</i>. Diatomea colonial que forma cadenas largas de células en forma de tambor. Presentan cloroplastos en forma de plaquitas de color pardo amarillento.</p>
	<p><i>Navicula sp.</i> Incluye individuos con valvas lanceoladas, estriadas transversalmente en la zona media, en sentido opuesto a los polos. Los extremos de las células son redondeados.</p>

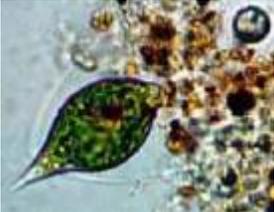
	<p><i>Nitzschia sp.</i> Género que agrupa células, en general pequeñas, con valvas lanceoladas que presentan estrías transversales muy finas, apenas visibles y dispuestas densamente.</p>
	<p><i>Pinnularia sp.</i> Microalga diatomea característica, estrías transversales gruesas a veces presentan poros.</p>
	<p><i>Surirella sp.</i> La célula en visión pleural es cuneiforme, vista por encima es ovada, con un polo anchamente redondeado y el otro más apuntado. Alas muy desarrolladas cuyos canales se encuentran separados por espacios anchos.</p>
	<p><i>Tabularia flocculosa.</i> Constituida por células que forman cadenas en zig-zag. Vista de lado las células son casi cuadradas, con numerosas bandas intercalares cuyos numerosos septos penetran profundamente. Las valvas se encuentran muy distadas en el centro.</p>

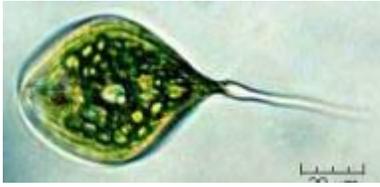
Dianoficeas/Dinophycea

	<p><i>Ceratium hirudinella.</i> Especie de contorno asimétrico, que presenta un cuerno apical muy largo, con el extremo abierto. Cuernos basales en número de 3.</p>
---	---

	<p><i>Gymnodinium paradoxum</i>. Especie móvil, con células ovaladas, y surcos longitudinal y transversal pocos profundos. Cloroplastos de color oscuro dispuestos en manchas alrededor del núcleo central.</p>
	<p><i>Peridinium cinctum</i>. Especie móvil formada por células esféricas, de sección arriñonada. Un caparazón, dividido en placas características de cada especie, rodea la célula. El caparazón también puede presentar espinas. Los cloroplastos son de color pardo.</p>

Euglenoficeas/Euglenophyta

	<p><i>Euglena oxyuris</i>. Microalga constituida por células alargadas, con punta terminal corta, casi siempre retorcidas en sentido longitudinal. La membrana presenta estriación espiralada. El flagelo es relativamente corto. Presenta numerosos cloroplastos en forma de placa.</p>
	<p><i>Euglena viridis</i>. Individuos de aspecto uniforme y con un flagelo de igual longitud que el cuerpo. Los cloroplastos tienen forma de cinta y están orientados hacia un pirinoide central. Aunque son fotosintéticos pueden ingerir materia orgánica.</p>
	<p><i>Phacus pyrum</i>. Las células son abombadas, con el extremo posterior adelgazado en una espina larga y recta. Ocho estrías espiraladas confluyen en la desembocadura del sáculo del flagelo.</p>



Phacus torta. Células intensamente retorcidas, con larga espina caudal y membrana con estriación longitudinal. Los cloroplastos tienen forma de placa.

Xantoficeas/Xantophyta



Tribonema sp. Microalga que presenta numerosos cloroplastos. La membrana es fina y delicada presentando apéndices en forma de H bien visibles.