
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
BIOQUÍMICA**

TESIS PROFESIONAL

**“Monitoreo de la calidad del agua en la planta de tratamientos de aguas
residuales de Productora Nacional de Papel, S.A. DE C.V.”**

PRESENTA:

ALEXIS SORIANO MERINO

ASESORES:

ING. ENRIQUE MÉNDEZ SUMANO

ING. JOEL MEJÍA VÁZQUEZ

El proyecto se desarrolla en Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V. con domicilio conocido, Ejido San Miguel Villa de Reyes, San Luis Potosí. Productora Nacional de Papel está dividida en distintas áreas y laboratorios. El proyecto se realizará en el área y el laboratorio de efluente, bajo la dirección del Ing. Joel Mejía Vázquez.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la fuerza, el valor y el coraje necesario para lograr concluir esta gran meta en mi vida.

A mi **familia** por todo el apoyo, los consejos y sobre todo el inmenso amor que siempre me han demostrado. A mis papás que al igual que yo, lucharon y dieron lo mejor de ellos con la única finalidad de verme salir adelante, a cada uno de mis hermanos que pusieron su granito de arena y estuvieron siempre al pendiente de mi todo este tiempo.

Al **Instituto Tecnológico de Oaxaca** y cada uno de mis profesores por sus enseñanzas, su empeño y la dedicación que cada uno de ellos puso en los salones día con día.

A **Productora Nacional de papel S.A. DE C.V.**, por permitirme llevar a cabo mi residencia profesional dentro de sus instalaciones. Agradezco a cada una de las personas que forman parte de esta empresa que en todo momento estuvieron en la total disposición de responder cada una de mis dudas e inquietudes y de manera especial al **área de producción**, gracias por su tiempo, su paciencia, pero sobre todo por el conocimiento que compartieron conmigo, fue un placer haber trabajado con ustedes.

A mis asesores **Ing. Joel Mejía Vázquez** por haberme dado la oportunidad de trabajar con el, por la confianza y por brindarme las herramientas necesarias para poder aprender, por el apoyo recibido en el desarrollo de este proyecto muchas gracias, al **Ing. Enrique Méndez Sumano**, por los conocimientos brindados en las aulas de clase, por resolver cada una de mis dudas, agradezco toda la atención brindada, las sugerencias y recomendaciones con respecto al proyecto, gracias.

RESUMEN

En este proyecto el objetivo es “Monitorear la calidad del agua en la planta de tratamientos de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V.”

El monitoreo, se basa en medir las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, con la finalidad de conocer el comportamiento del agua a lo largo del tren de tratamiento, para tener un panorama más amplio fue necesario monitorear el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario.

En el tratamiento de lodos activados las algas se encargan de suministrar el oxígeno necesario para la degradación de la materia orgánica presente en el agua, por lo que las concentraciones de nutrientes en todas son fundamental para mantener una población sana de bacterias.

En el tratamiento terciario, un proceso de coagulación y floculación tiene lugar con la intención de precipitar al fondo del clarificador la mayor cantidad de sólidos presentes aun en el agua, en este mismo tratamiento se lleva a cabo el proceso de clorado.

Con los valores obtenidos del monitoreo diario, será posible la generación de tendencias en forma de gráficas para cada uno de los parámetros medidos a lo largo de todo el tratamiento de las aguas residuales industriales generadas por la fabricación de papel.

Dichas tendencias ayudaran posteriormente a los operadores y trabajadores del efluente a detectar de manera oportuna y atender de una forma eficaz los posibles problemas que lleguen a suscitarse, siendo uno de los principales y que más repercuten en la calidad del agua, la falta de oxígeno disuelto en las lagunas de aireación debido a fallas mecánicas en los equipos que lo suministran.

Palabras clave: coagulación, floculación, lodos activados.

ABSTRACT

In this project, the objective is to “Monitor the quality of the water in the treatment plant of Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V.”

The monitoring is based on measuring the physical, chemical and biological characteristics of the wastewater, in order to know the behavior of the water throughout the treatment train, to have a broader picture it was necessary to monitor the pretreatment, primary treatment, secondary treatment.

In the treatment of activated sludge, the algae are responsible for supplying the oxygen necessary for the degradation of the organic matter present in the water, so the concentrations of nutrients in all of them are essential to maintain a healthy population of bacteria.

In the tertiary treatment, a coagulation and flocculation process takes place with the intention of precipitating to the bottom of the clarifier the greatest amount of solids present even in the water, in this same treatment the chlorination process is carried out.

With the values obtained from daily monitoring, it will be possible to generate trends in the form of graphs for each of the parameters measured throughout the entire treatment of industrial wastewater generated by paper manufacturing.

These trends will later help operators and effluent workers to detect in a timely manner and effectively attend to possible problems that may arise, being one of the main ones and one that has the most repercussions on water quality, the lack of dissolved oxygen. in the aeration lagoons due to mechanical failures in the equipment that supplies it.

Keywords: coagulation, flocculation, activated sludge.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
JUSTIFICACIÓN	12
CAPITULO 1	14
1.1 MARCO TEÓRICO	14
1.2 Marco legal e institucional	14
1.2.1 Normas Oficiales Mexicanas	14
1.2.2 NOM-001-SEMARNAT-2021	14
1.2 Naturaleza de las aguas residuales	15
1.2.1 Agua residual	15
1.2.2 Clasificación de las aguas residuales	15
1.2.3 Aguas residuales industriales provenientes de la fabricación de papel	16
1.3 Características de las aguas residuales	16
1.3.1 Características físicas de las aguas residuales	17
.....	18
1.3.2 Características químicas de las aguas residuales	18
1.3.3 Características biológicas de las aguas residuales	19
1.4 Nutrientes en las aguas residuales	21
1.4.1 Nitrógeno	21
1.4.2 Fosforo	22
1.4.3 Flúor	22
1.5 Planta de tratamientos de aguas residuales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V.	23
1.6 Tratamiento Primario. (Separación Físicoquímica de Sólidos)	23
1.6.1. Equipos DAF	26
1.6.2 Productos químicos en el proceso de Flotación por Aire Disuelto	26
1.6.3 Afinidad de las Partículas Coloidales por el Agua	26
1.6.4 Carga Eléctrica y Doble Capa.	27

1.6.5 Factores de Estabilidad e Inestabilidad	28
1.6.6 Proceso de coagulación	28
1.6.6 Proceso de floculación	30
1.7 Tratamiento Secundario (Tratamiento Biológico).....	30
1.7.1 Lodos activados.....	32
1.7.2 Lagunas de aireación	33
1.7.3 Tipos de lagunas aireadas	33
1.7.3.1 Lagunas aireadas de mezcla completa	34
1.7.3.2 Lagunas aireadas de mezcla parcial.....	34
1.7.4 Profundidad de las lagunas.....	35
1.7.5 Factores que afectan el tratamiento de las aguas residuales	36
1.8 Equipos de aireación	37
1.7.4 Lagunas facultativas o de maduración	38
1.8 Tratamiento terciario (sedimentación y filtración).....	39
1.9 Disposición del agua tratada.....	39
CAPITULO II	40
METODOLOGIA	40
2.1 Equipos HACH.....	40
2.1.2 HACH DR 2800.....	41
2.1.3 HACH HQ40 d	41
2.2 Toma de muestras	42
2.1.1 Recomendaciones para realizar el muestreo.....	43
2.3 Equipo de protección personal.....	43
2.4 Manual de análisis utilizado en la planta de tratamientos de aguas residuales industriales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V.....	44
2.4.1 Determinación de Turbidez.....	44
2.4.2 Determinación de Color	45
2.4.3 Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) Método HACH DR 2800	46
2.4.4 Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	46
2.4.5 Determinación de Sólidos Sedimentables.....	48
2.4.6 Determinación de Fósforo.....	49
1.4.7 Determinación de Conductividad.....	50
1.4.8 Determinación de pH	50
1.4.9 Determinación de Oxígeno Disuelto.....	51

1.4.10 Determinación de Nitritos	51
1.4.11 Determinación de Nitratos	52
CAPITULO III	53
RESULTADOS.....	53
3.1 Condiciones límites del manual de Operaciones de la PTAR Pronal	54
3.2 Conductividad.....	55
3.3 pH	57
3.4 Temperatura	59
3.5 SST HACH	61
3.6 Color	62
3.7 Turbidez.....	64
3.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	65
3.9 Nitritos	67
3.10 Nitratos	68
3.11 Fosforo	70
3.12 Oxígeno disuelto (ppm).....	71
3.13 Solidos sedimentables.....	73
Recomendaciones	75
XI REFERENCIAS.....	76

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se redacta con carácter de Trabajo Profesional de Fin de Carrera, dicho proyecto lleva por nombre “Monitoreo de la calidad del agua en la planta de tratamientos de aguas residuales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V.”, realizado en las instalaciones de la empresa anteriormente mencionada.

Es de suma importancia conocer la calidad del agua que diariamente es tratada en esta planta de tratamientos de aguas residuales industriales generadas en la fabricación de papel, debido a que esta agua es utilizada por los ejidatarios en la agricultura, lo que significa que estarán en contacto de manera directa y por lo tanto es responsabilidad de la empresa que el agua que descargan en los ejidos tenga la calidad necesaria para ser utilizada sin poner en riesgo la salud de quienes la utilicen, por tal motivo fue necesario monitorear distintos parámetros tanto físicos, químicos y biológicos.

Para conocer la calidad del agua fue necesario monitorear de manera constante cada una de las etapas que comprenden el tren de tratamiento de la planta.

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

Se registraron los valores de cada parámetro a lo largo de los distintos tratamientos con la finalidad de tener un panorama más amplio de cómo se comporta el agua a lo largo del proceso, en donde sin duda la mayor degradación de materia orgánica se lleva a cabo en el tratamiento secundario (biológico).

PRODUCTORA NACIONAL DE PAPEL, S.A. DE C.V., se localiza en Villa de Reyes, San Luis Potosí, inicio sus operaciones en el año de 1976 y es pionera en el reciclado de fibra secundaria para la fabricación de papel periódico. A partir de noviembre de 2003, paso a formar parte de la División Papel de Organización Editorial Mexicana. Originalmente opero con el nombre de PRODUCTORA NACIONAL DE PAPEL DESTINTADO (PRONAPADE) hasta finales de los años noventa, cuando fue desincorporada del sector público mediante un proceso de privatización. Ya en manos privadas, inicio el proceso de modernización consistente en la instalación de una de las plantas de preparación de pasta con la tecnología más avanzada a nivel mundial, con equipamiento para depurar, destintar, dispersar y blanquear fibra secundaria con un proceso libre de cloro, permitiendo alcanzar los mayores estándares de blanqueo y limpieza. Con una capacidad instalada que está por arriba de las 150 mil toneladas anuales, PRODUCTORA NACIONAL DE PAPEL produce actualmente papel médium y liner, fabricados a partir de fibra celulósica 100% reciclada, contribuyendo de esta manera a la conservación ambiental, ecológica y forestal, alcanzando en todos los casos los estándares más altos de calidad.

OBJETIVOS

Objetivo general

- I. Monitorear la calidad del agua de la planta de tratamiento de aguas residuales de Productora Nacional de Papel, graficando los valores de cada parámetro y comparando los resultados con el manual de operación de la planta.

Objetivos específicos

- I. Graficar tendencias para los parámetros en el tratamiento primario, secundario y terciario.
- II. Comprobar que los resultados obtenidos en el monitoreo cumplen con los valores establecidos en el manual de operación de la planta.
- III. Proponer mejoras en los tratamientos.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente uno de los problemas que más preocupan es el de dotar de los servicios de agua potable, así como agua para actividades industriales y agrícolas a la población, debido a su importancia en la vida cotidiana y a la demanda excesiva de este líquido vital, es un problema que debe atacarse de manera oportuna.

Diariamente la población demanda gran cantidad de bienes y servicios para satisfacer sus necesidades básicas, por lo que, tanto las industrias como el campo deben cubrir dichas demandas agotando rápidamente los recursos de nuestro planeta.

La contaminación del agua y de los mantos acuíferos es un problema que debe atenderse de una manera oportuna para lograr reducir el impacto o daños que estos residuos puedan generar en el medio ambiente.

Las aguas residuales generadas deben ser tratadas de manera adecuada en primer lugar, para defender la salud pública y el medio ambiente. Si las aguas residuales no son tratadas y se vierten directamente a ríos, lagos o mares, es muy probable que se introduzcan elementos de contaminación que acaben produciendo importantes daños ecológicos en el entorno ambiental y enfermedades de salud pública (causadas por virus y bacterias) en las personas y comunidades que entren en contacto con esas aguas contaminadas, otro motivo importante es la reutilización en actividades en las cuales las personas no tengan contacto directo con estas aguas tratadas. Algunas actividades humanas que necesitan el consumo de agua no requieren que sea agua potable, hablamos por ejemplo del riego de zonas verdes o el agua utilizada para usos industriales o de servicios (limpieza de zonas industriales, lavado de vehículos, mantenimiento de calderas, etc.). Tomando en cuenta los daños y serios problemas de contaminación que el mal manejo de las aguas residuales no tratadas y su descarga al medio ambiente pueden ocasionar, sin importar su generación pudiendo ser aguas residuales agrícolas, domesticas, industriales o producto de la alta actividad minera presente en México la alternativa más idónea es su tratamiento y el monitoreo constante de los parámetros que afectan o ayudan a la degradación de la materia orgánica y por lo tanto a la mejora en la calidad del agua. La intención de realizar el proyecto de monitorear la calidad del agua en la PTAR Pronal es recabar datos a partir de la medición de parámetros con la finalidad de generar tendencias mismas que serán

graficadas y comparadas con el manual de operación, con las tendencias generadas se podrá tener un mayor control de la calidad del agua y poder actuar de manera oportuna cuando las condiciones del efluente no sean las adecuadas.

Además de incluir dentro de los parámetros medidos la presencia de nutrientes necesarios para el correcto desarrollo de bacterias y algas encargadas de degradar la materia orgánica en las lagunas, como son:

- Nitritos
- Nitratos
- Fosforo

Parámetros que anteriormente no se medían y por lo tanto actualmente no se cuenta con registros de la presencia de estos nutrientes en la PTAR Pronal, por lo que su medición ayudara a conocer más a detalle las condiciones y las características dentro del tratamiento secundario y terciario. Con todos datos obtenidos del monitoreo será posible generar propuestas y mejoras para cada uno de los tratamientos, mismas que ayudarán a que la calidad del agua sea mejor, así como a detectar por los operadores y auxiliares de manera oportuna cuando existan irregularidades en alguno de los tratamientos.

CAPITULO 1

1.1 MARCO TEÓRICO

A continuación, se exponen las bases teóricas, parte fundamental para sustentar el desarrollo del proyecto.

Para lograr comprender y entender la finalidad del desarrollo de este proyecto es necesario iniciar por el tratamiento de las aguas residuales, explicando de manera detallada cada uno de los pasos, además conceptos como coagulación y floculación, clarificadores de flotación por aire disuelto (DAF). Equipos de aireación, mezclado y soplado en sistemas de lagunas aireadas, lagunas facultativas, lodos activados y todo tipo de bacterias presentes en las aguas residuales capaces de degradar la materia orgánica presente, nutrientes y demás conceptos que ayudaran al desarrollo del proyecto.

1.2 Marco legal e institucional

1.2.1 Normas Oficiales Mexicanas

Las normas oficiales mexicanas (NOMs) son disposiciones generales de tipo técnico expedidas por dependencias de la administración pública federal. Su objetivo es establecer reglas, especificaciones, directrices y características aplicables a un producto, proceso o servicio. El objeto de las NOMS es regular cuestiones de alta especificidad técnica para dar cumplimiento a las obligaciones establecidas en los reglamentos o en la ley. (Nexos, 2010)

1.2.2 NOM-001-SEMARNAT-2021

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana

no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales. (CONAGUA, 2020)

1.2 Naturaleza de las aguas residuales

1.2.1 Agua residual

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. (LÓPEZ, 2018)

Cabe destacar y es sumamente importante no olvidarse de tratar previamente esas aguas antes de su descarga, ya sea en un bien federal, en el alcantarillado y sobre todo cuando se trata de rehusarla en actividades en donde las personas no estén en contacto directo, ejemplo: para riego de jardines o áreas verdes en espacios públicos.

1.2.2 Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales se pueden clasificar dependiendo su origen:

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.
- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas

urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo. (LÓPEZ, 2018)

- Aguas de lluvia

La escorrentía generada por aguas de lluvias es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e industriales, y su caudal mayor. La contaminación mayor se produce en las primeras aguas que lavan las áreas por donde escurre.

1.2.3 Aguas residuales industriales provenientes de la fabricación de papel

Las aguas residuales provenientes de los procesos industriales pueden variar ampliamente su composición, dependiendo de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.). Así estas aguas pueden variar desde aquellas con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y aquellas que por el tipo de actividad económica poseen gran cantidad de materia inorgánica.

En la planta de tratamientos de aguas residuales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V., las aguas que se tratan son aquellas generadas en el proceso de fabricación de papel, usando como materia prima cartón reciclado por lo que las aguas residuales poseen una gran cantidad de materia orgánica.

La industria del papel es de las que utilizan mayor cantidad de agua en cada uno de sus procesos, desde la molienda, el refinado de la fibra y la formación de la hoja, por lo que es necesario,

1.3 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales, ya sean domésticas, industriales, agrícolas o generadas de alguna otra manera poseen características particulares y se pueden agrupar en 3 grandes bloques: características físicas, químicas y biológicas. A continuación, se describen cada una de ellas.

1.3.1 Características físicas de las aguas residuales

Temperatura. La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura.

Turbidez. La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.

Color. El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica.

Olor. El olor es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica.

Sólidos Totales. Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables. Sólidos suspendidos: son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos.

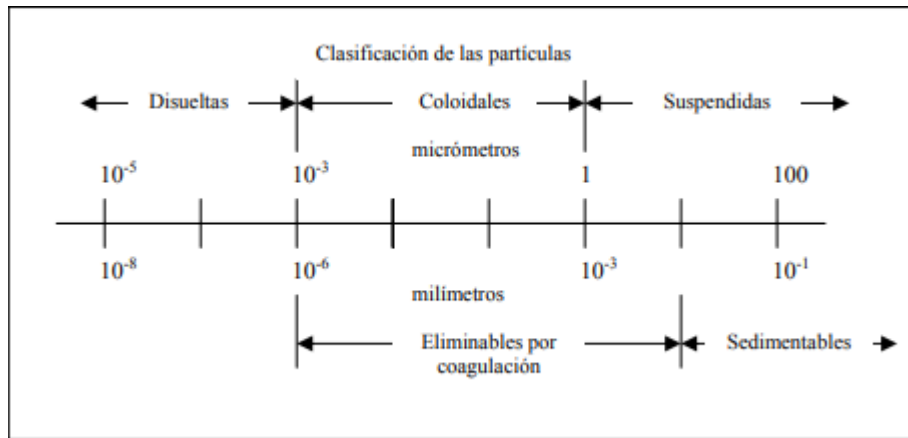


Figura 1. Clasificación de las partículas sólidas contenidas en un agua residual, según su diámetro.

1.3.2 Características químicas de las aguas residuales

Materia orgánica. La materia orgánica está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas. El agua residual contiene también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas como agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura.

Materia inorgánica. Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables.

Gases. Las aguas residuales contienen diversos gases con diferente concentración. Oxígeno disuelto: es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual evita la formación de olores desagradables. La cantidad de oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc.

Ácido sulfhídrico: se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Su presencia, que se

manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución y estado de un agua residual.

Metano: se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica por la reducción bacteriana del CO₂.

Otros gases: se producen además gases malolientes, como ácidos grasos volátiles y otros derivados del nitrógeno. (Biblioteca, 2013)

1.3.3 Características biológicas de las aguas residuales

Bacterias. Las bacterias son protistas unicelulares. Utilizan la materia orgánica disuelta como alimento, y en general pueden ser encontradas en cualquier medio en el que exista alimento disponible. Su modo de reproducción es por fisión binaria, aunque algunas especies se reproducen sexualmente o por germinación. Existen miles de clasificaciones de bacterias, pero todas caen dentro de tres clasificaciones generales en relación con su forma: esféricas, cilíndricas y helicoidales. Son muy variables en tamaño, y su rango está de los 0.5 a los 15 micrones (1 micrón=10⁻⁶ metros=10⁻⁴ cm). (oocities, 2014)

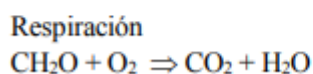
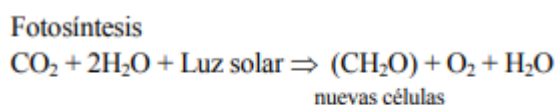
Bacterias anaerobias: son las que consumen oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos y la presencia de oxígeno disuelto no les permite subsistir. Los procesos que provocan son anaerobios, caracterizados por la presencia de malos olores.

Bacterias aerobias: son aquellas que necesitan oxígeno procedente del agua para su alimento y respiración. El oxígeno disuelto que les sirve de sustento es el oxígeno libre (molecular) del agua, y las descomposiciones y degradaciones que provocan sobre la materia orgánica son procesos aerobios, caracterizados por la ausencia de malos olores.

Bacterias facultativas: algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias a aguas con oxígeno disuelto. (Biblioteca, 2013)

Bacterias coliformes: bacterias que sirven como indicadores de contaminantes y patógenos. Son usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente.

Algas. Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autotróficos y fotosintéticos. La presencia de algas en las aguas es indeseable ya que producen malos olores y sabores en el agua de consumo. Interfieren en los procesos de filtración, y al darle coloración al agua disminuyen sus características estéticas. En lagunas de oxidación, las algas son valiosas debido a que producen oxígeno a través del proceso de fotosíntesis. Por la noche, cuando no hay disponible luz para la fotosíntesis, emplean el oxígeno disponible para la respiración. Las reacciones bioquímicas simplificadas de los procesos bioquímicos que ocurren en la fotosíntesis y en la respiración son las siguientes:



La habilidad de las algas para producir oxígeno es de vital importancia para la ecología del medio ambiente de las aguas. Para que una laguna de oxidación aeróbica o facultativa opere adecuadamente, se requiere de las algas, que son la fuente de oxígeno para las bacterias aeróbicas heterotróficas. Esta relación simbiótica entre las bacterias y las algas es el mecanismo a través del cual las aguas residuales pueden ser depuradas en lagunas de oxidación. Debido a que las algas utilizan el dióxido de carbono en la actividad fotosintética, es posible que el agua alcance altos valores de pH. De la misma forma a como ocurre con el oxígeno disuelto, existe una variación en el valor del pH. Durante el día, las algas consumen dióxido de carbono lo cual tiende a incrementar el valor del pH; por la noche, las algas producen CO₂ lo cual resulta en una disminución en el pH.

También, como los demás organismos, las algas requieren de compuestos inorgánicos para su reproducción. Los principales elementos requeridos de este tipo son nitrógeno y fósforo.

Protozoarios: Los protozoarios son protistas microscópicos que por lo regular son unicelulares y que además poseen movilidad, lo cual realizan generalmente por medio de un flagelo o cola. La mayoría de los protozoarios son aeróbicos heterotróficos,

aunque algunos de ellos son anaeróbicos. Los protozoarios son de mayor tamaño que las bacterias y consumen estas como fuente de energía. De hecho, los protozoarios consumen en los efluentes finales de las aguas tratadas, la materia orgánica residual y las bacterias que se puedan encontrar en dicho efluente.

Rotíferos: Los rotíferos son animales multicelulares, aeróbicos, heterotróficos. Su nombre es originado del hecho que poseen dos juegos de antenas rotatorias, las cuales giran y les comunican movimiento para capturar su alimento. Los rotíferos son muy eficientes consumiendo bacterias dispersas y floculadas, así como partículas pequeñas de material orgánico. La presencia de rotíferos en el agua depurada indica una alta eficiencia en el proceso aeróbico de purificación.

Crustáceos: Los crustáceos, al igual que los rotíferos son animales multicelulares aeróbicos heterotróficos. A diferencia de los rotíferos, los crustáceos tienen una capa o cubierta dura. Los crustáceos son alimento natural de los peces, por lo que frecuentemente se encuentran en la mayoría de las aguas naturales. No se presentan en grandes cantidades en sistemas biológicos de tratamiento de aguas y su presencia en efluentes es indicativo de un agua con baja cantidad de materia orgánica y valores altos de oxígeno disuelto. (oocities, 2014)

1.4 Nutrientes en las aguas residuales

Tanto las bacterias encargadas de degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales, como las algas y demás microorganismos necesitan de ciertos nutrientes para poder cumplir con su ciclo de vida, pero también para mantener una población saludable de bacterias. Estos nutrientes se encuentran disueltos de manera natural en las aguas, y algunos otros son sintetizados por medio de la descomposición de bacterias específicas.

1.4.1 Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento importante en las aguas residuales ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos. Si el agua residual no contiene suficiente nitrógeno pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario.

En las aguas residuales el nitrógeno se encuentra en 4 formas básicas: nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato. Si las aguas residuales son frescas, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana.

1.4.2 Fósforo

El fósforo, como el nitrógeno, es un elemento esencial para el crecimiento biológico. En el agua residual el fósforo se encuentra en 3 formas: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicas y fosfatos orgánicos. El ortofosfato es la forma más fácilmente asimilable por los microorganismos y se utiliza como un parámetro de control en los procesos biológicos de eliminación de fósforo.

Es importante reseñar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras. El crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras causa una disminución del oxígeno disuelto y, a largo plazo, serios problemas de contaminación.

1.4.3 Flúor

Los iones fluoruro se encuentran en forma natural en el agua. El fluoruro forma complejos con silicio, aluminio y boro. Estos complejos pueden existir en el agua debido al uso de compuestos fluorados por la industria.

1.5 Planta de tratamientos de aguas residuales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V.

La planta de tratamientos de aguas residuales industriales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V., posee características específicas que la hacen diferente a una planta convencional, esto se debe al tipo de actividad económica y a las características de las aguas generadas en la fabricación de papel.

Regularmente en una planta de tratamiento de aguas residuales convencional en el pretratamiento y en el tratamiento primario se busca deshacerse de la mayor cantidad de sólidos de gran tamaño que pudieran afectar los tratamientos posteriores, sin embargo esto no sucede en la PTAR pronal, ya que es estos tratamientos los equipos instalados están orientados a la recuperación de fibra disuelta en el agua para ser devuelta al proceso de fabricación de papel, esto se logra con ayuda de equipos DAF (flotación por aire disuelto).

1.6 Tratamiento Primario. (Separación Fisicoquímica de Sólidos)

1. El Agua Residual de la Fabrica llega a través de un canal abierto y un canal subterráneo de drenaje industrial, este canal está conectado a una fosa de contingencia para recibir los excesos de agua o cuando hay algún lavado químico de mayor concentración que podría afectar el tratamiento.
2. Del canal principal el agua pasa a un equipo Tromel, el cual se encarga de separar sólidos gruesos como son: Madera, plástico, papel triturado, etc., los cuales son separados y clasificados como basura.
3. El agua filtrada enseguida pasa a un desarenador primario, el cual es encargado de sedimentar sólidos pesados, arenas, a continuación, el agua pasa a un segundo desarenador que en su terminación contiene una rejilla para atrapar algunos sólidos como plásticos que aun pueda contener el agua.
4. Posteriormente, el agua se envía normalmente a los filtros parabólicos, distribuyendo el flujo en 4 de estos filtros, los cuales separan la fibra del agua para después enviar el agua filtrada a la fosa de regulación.

5. Los lodos generados de la separación en los filtros parabólicos se envían al tanque de lodos donde posteriormente pasa por una prensa doble tela que se encarga de compactar estos lodos, este material se consideran lodos primarios.
6. La fosa de regulación que contiene al agua filtrada de los separadores de fibra se envía hacia el clarificador Krofta y el clarificador Poseidón 2 que tiene la función de realizar la separación de Agua-Pasta.
El uso de un sistema químico de Coagulante – Floculante para favorecer la separación de los sólidos es aplicado a esta agua.
La recirculación de agua saturada de aire provoca la flotación de las fibras y materiales floculados.
Los lodos separados de este proceso del equipo Krofta se envían al tanque de lodos y de ahí a la prensa doble tela para su compactación como Lodos Primarios.
El Agua clarificada es enviada a la Laguna de Aireación no. 1, para continuar con los procesos Biológicos.
7. Se cuenta con un tercer equipo de clarificación, Poseidón 1, el cual es alimentado por el tanque de reacción que contiene agua blanca proveniente de las Máquinas de Papel No.1 y No.2. El agua Clarificada pasa por gravedad al tanque de Agua Clarificada, esta agua es reutilizada en el proceso.
8. Los lodos separados en ambos poseidones son enviados por gravedad al cárcamo de lodos de recirculación, mediante una bomba S/NF se envía la pasta recuperada como recirculación al hidrapulper. (Pronal, 2018)

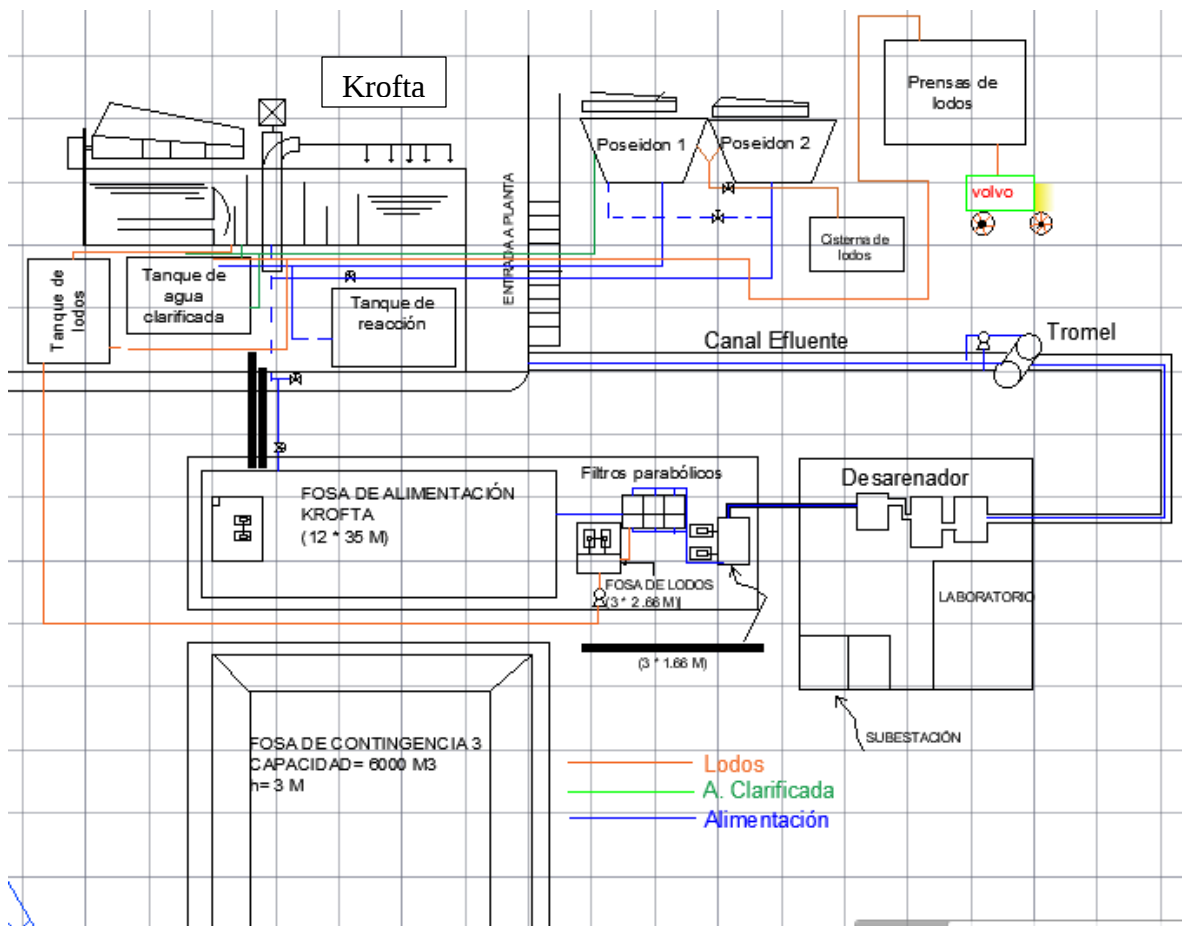


Figura 2. Plano del tratamiento primario de la PTAR Pronal.

1.6.1. Equipos DAF

Un sistema de flotación por aire disuelto DAF es un sistema que se encarga de separar las partículas en suspensión mediante microburbujas de aire, en una solución sobresaturada. Los sólidos se adhieren a las microburbujas en su recorrido ascendente flotando hacia el sistema de separación superior. (Residuales, 2015)

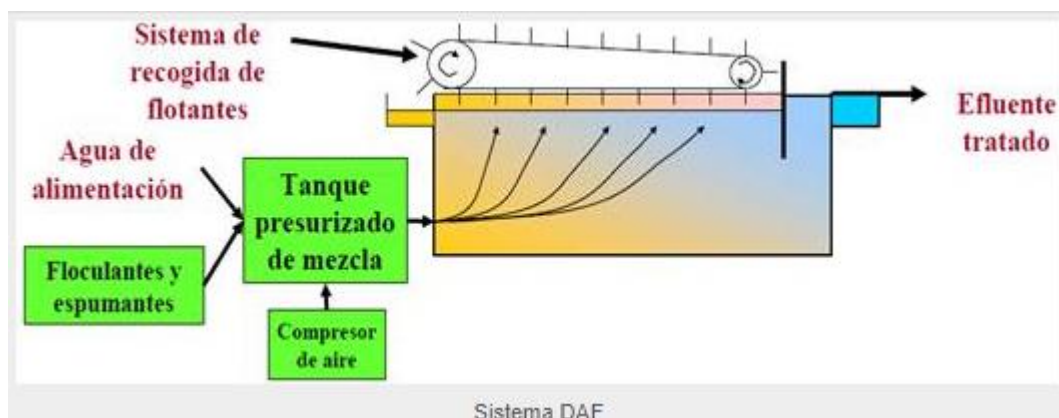


Figura 3. Sistema DAF.

1.6.2 Productos químicos en el proceso de Flotación por Aire Disuelto

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales, para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración. La floculación con la ayuda de la mezcla lenta favorece el contacto entre las partículas desestabilizadas.

1.6.3 Afinidad de las Partículas Coloidales por el Agua

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas (tienen afinidad por el agua) e hidrófobas (es decir que rechazan al agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos. Las partículas hidrófobas

son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas. (Yolanda, 2000)

1.6.4 Carga Eléctrica y Doble Capa.

Dentro del Agua Superficial, las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos.

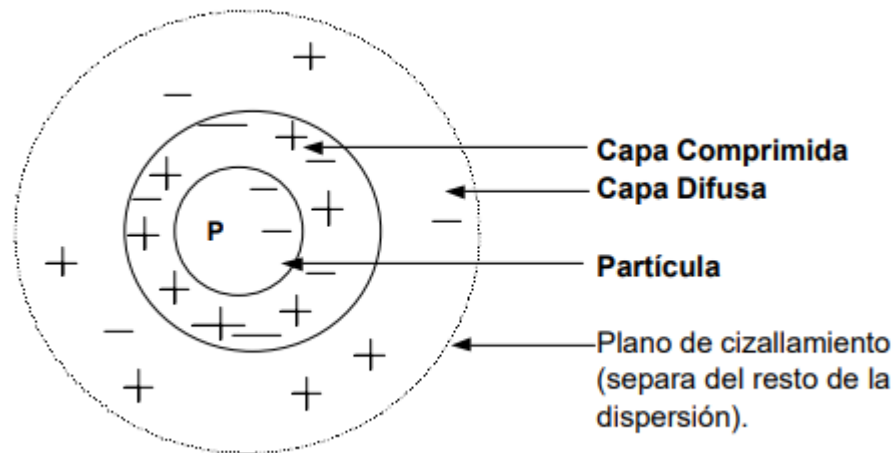


Figura 4. Doble Capa de Una Partícula coloidal.

Doble Capa de Una Partícula coloidal. Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo tanto, hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta. 2.4. (Yolanda, 2000)

1.6.5 Factores de Estabilidad e Inestabilidad

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes de fuerzas:

- Fuerzas de atracción de Van der Waals: Son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.
- Fuerzas de repulsión electrostáticas: Son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras; por ejemplo 2 partículas de igual signo no se pueden aproximar, estas rechazan

1.6.6 Proceso de coagulación

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

La coagulación es el tratamiento eficaz pero también representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada. (Yolanda, 2000)

Los factores que influyen en el proceso de coagulación:

a) EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta.

Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

- Cal viva.
- Cal apagada.
- Carbonato sódico.
- Sosa Cáustica.
- Ácidos minerales.

b) Agitación rápida de la mezcla.

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado.

Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1sg). (contributors, 2018)

Entre los coagulantes más utilizados se encuentran:

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

1.6.6 Proceso de floculación

El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso se suele hablar de los procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan la retirada de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en micro flóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores. (Wikipedia c. d., 2018)

Como se mencionó anteriormente el proceso de coagulación-floculación, en el tratamiento primario de la PTAR Pronal, se busca con la ayuda de equipos DAF, recuperar la mayor cantidad de fibra, misma que será utilizada posteriormente en la fabricación de papel o prensada para ser desechada, y al mismo tiempo clarificar el agua, ya sea para regresarla al proceso o bien mandarla al tratamiento secundario.

1.7 Tratamiento Secundario (Tratamiento Biológico)

1. El Agua Clarificada del Clarificador Krofta es enviada por gravedad hacia la Laguna de Aireación No. 1 donde se inicia el proceso de aireación.
Los aireadores instalados en la laguna No. 1 son de superficie y cumplen la función de mantener homogenizado los materiales de la laguna y sobre todo mantener el nivel de Oxígeno Disuelto para favorecer el crecimiento de bacteria aeróbicas.
2. El agua posteriormente es enviada la laguna de aireación No. 2 donde continúa con el proceso de degradación biológica del sistema, en esta laguna se cuenta de igual manera que en la Laguna de Aireación No.1 con aireadores de superficie.
3. El agua tratada en la laguna de aireación No. 2 es enviada a través del canal a la laguna facultativa donde continua la degradación biológica, mediante un proceso anaerobio (no se adiciona aire de forma mecánica al sistema).
4. El agua a la salida de la laguna facultativa es enviada al tratamiento terciario.

5. Para mantener un alto desempeño de la biomasa en la degradación biológica de los contaminantes, es necesario adicionar micronutrientes necesarios para la actividad biológica.

En este caso se tiene adición de Ácido Fosfórico (Fósforo) el cual se inyecta en la entrada a la Laguna de Aireación No. 1 mezclándose con el agua.

La planta de tratamientos de Productora Nacional de Papel funciona mediante lodos activados, a continuación, se muestran los planos originales de las lagunas. Contando con 2 lagunas de aireación y una laguna facultativa, con la capacidad de tratar un flujo hasta de $8000 \frac{l}{seg}$.

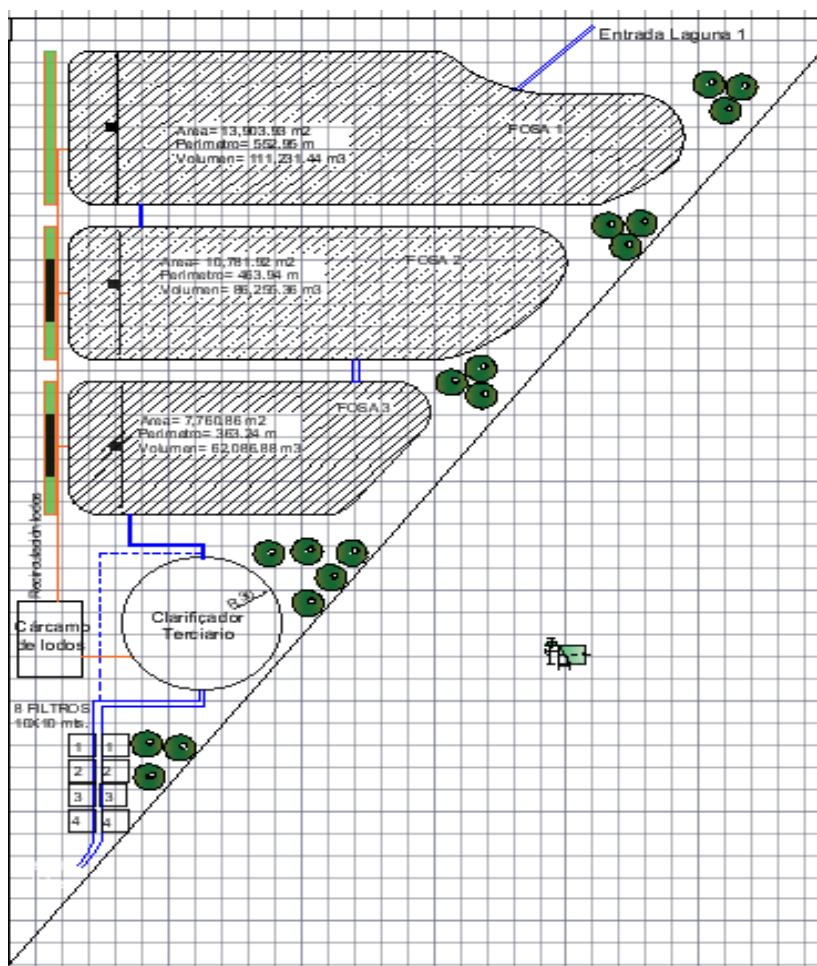


Figura 4. Plano del tratamiento secundario PTAR Pronal.

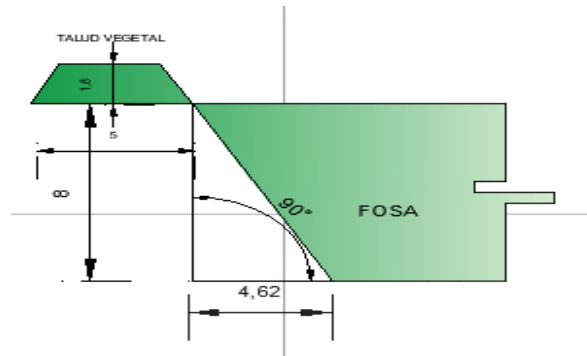


Figura 4. Dimensiones de las lagunas expresada en metros.

1.7.1 Lodos activados

La PTAR de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V., funciona mediante el proceso de lodos activados que es un proceso biológico, también conocido como bioproceso, permite el desarrollo de una depuración de origen natural en la que los microorganismos son capaces de depurar el agua contaminada y devolverla a su estado natural. Esto se consigue a través de lo que se conoce como tratamiento o proceso aerobio, a través de la aireación prolongada y la recirculación de fangos activos que elimina las sustancias biodegradables que están disueltas en el agua residual.

Es decir, un cultivo de microorganismos es mezclado con la materia orgánica del agua y éstos encuentran en estas sustancias su “alimento”. Además, esta aireación y agitación, al ser un procedimiento mecánico, produce el oxígeno que estos microorganismos necesitan para llevar a cabo su actividad. Para ello es clave contar con equipos de aireación prolongada, ya que se trata de una de las mejores soluciones para tratar agua residual en pequeñas o medianas poblaciones.

De este modo, se produce un proceso metabólico y los microorganismos se encargan de transformar los contaminantes biológicos en biomasa, dióxido de carbono y agua. Además, los microorganismos eliminan también compuestos como el amonio y otros compuestos nitrogenados. Se consigue así un clarificado, agua sin materia orgánica. Los microorganismos, por tanto, oxidan la materia orgánica disuelta y las partículas en suspensión y los coloides se coagulan y forman sedimento. (SMA, 2016)

1.7.2 Lagunas de aireación

Las lagunas aireadas se pueden implementar cuando se requieren condiciones predominantemente aerobias, o cuando se necesita aumentar el tiempo de residencia como consecuencia de incremento del caudal, o de la carga orgánica del afluente, y el terreno no permite dicha ampliación. En el caso de las lagunas aireadas el oxígeno es obtenido por la acción de sistemas electromecánicos. La ventaja que presentan las lagunas aireadas es que puede utilizarse la infraestructura de las lagunas de estabilización, e instalarse aireadores como parte de una rehabilitación, o para aumentar la eficiencia de remoción de materia orgánica. Debido a la introducción de sistemas electromecánicos, la operación y mantenimiento de las lagunas aireadas son más complicados en comparación con las lagunas de estabilización típicas. La diferencia principal entre un tanque de aireación empleado en los sistemas de lodos activados y una laguna aireada es que la población de microorganismos en el sistema de lodos activados se controla mediante la purga del lodo sedimentado y la recirculación en el sedimentador secundario, mientras que en una laguna aireada el paso del flujo a través de la laguna es donde la concentración de los sólidos depende de las características del agua a tratar, al igual que el tiempo de retención del sistema.

1.7.3 Tipos de lagunas aireadas

Las lagunas aireadas se clasifican según su grado de mezclado en:

1. Lagunas aireadas de mezcla completa: se diseñan con los niveles de potencia de manera tal que se alcance una mezcla completa, con la intención de mantener en suspensión todos los sólidos e incrementar la concentración de oxígeno disuelto en la masa de agua de la laguna
2. Lagunas aireadas de mezcla parcial: se diseñan con niveles de potencia de aireación para realizar una mezcla parcial y mantener en suspensión tan solo una fracción de los sólidos suspendidos, lo que propicia que se depositen en el fondo.

Las lagunas de la PTAR industriales en Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V. a pesar de contar con una cantidad considerable de equipos de aireación podría

considerarse de mezcla completa, pero la realidad es que no cumple con las características de ese tipo de lagunas, ya que una cantidad considerable de materia orgánica se sedimenta en el fondo y otra parte queda suspendida en el agua, a diferencia de las lagunas aireadas en las que la mezcla completa se presenta en toda la laguna, en el caso de las lagunas aireadas de mezcla parcial sólo la zona de influencia del aireador presenta una mezcla completa, esto lo podemos comprobar con la medición de parámetros como SST y oxígeno disuelto en distintos puntos de las lagunas.

La razón de dicho comportamiento en las lagunas de aireación podría deberse a la profundidad con la que cuentan y aunque se encuentren instalados gran cantidad de equipos de aireación, no son capaces de realizar una mezcla completa.

1.7.3.1 Lagunas aireadas de mezcla completa

La función esencial de las lagunas aireadas de mezcla completa es degradar la materia orgánica aprovechando el mezclado total en el cual la biomasa encargada de degradar la materia orgánica se encuentra en suspensión; este tipo de lagunas permite convertir los residuos en tejido celular, para su posterior separación. En lugares de clima frío se recomienda recircular parte de los sólidos para mejorar el rendimiento durante los meses invernales.

1.7.3.2 Lagunas aireadas de mezcla parcial

En una laguna aireada de mezcla parcial una parte de los sólidos entrantes y los biológicos producidos se sedimentan en el fondo de laguna. A esta masa que se acumula se le conoce como lodo bentónico. Si la laguna presenta una cantidad considerable de lodos bentónicos el efluente estará más altamente estabilizado, es decir, presentará una variación más uniforme de materia orgánica. La ventaja de utilizar aireadores superficiales es que permiten amortiguar mayores cargas orgánicas. Físicamente, la carga orgánica representa la velocidad con que la laguna recibe esta materia. Si la carga orgánica excede la cantidad de oxígeno suministrada por los aireadores, es posible que en la laguna se presenten condiciones anaerobias, y como consecuencia se produzcan malos olores. Por el contrario, cuando se suministra aire

en demasía, sin que se produzca una mezcla completa, se induce a la formación de zonas con diferentes condiciones de óxido-reducción.

1.7.4 Profundidad de las lagunas

La profundidad influye directamente en la operación, sobre todo en lagunas aireadas mecánicamente, por lo que es necesario ponerle especial atención cuando se revisan los planos de las lagunas. Es importante cerciorarse de que el equipo de aireación sea el adecuado para la profundidad de la laguna. En el caso de lagunas de mezcla completa es necesario verificar si el aireador puede mantener en suspensión todos los sólidos sin el uso de accesorios adicionales, o si hace falta acondicionarle algunos de acuerdo con su profundidad.

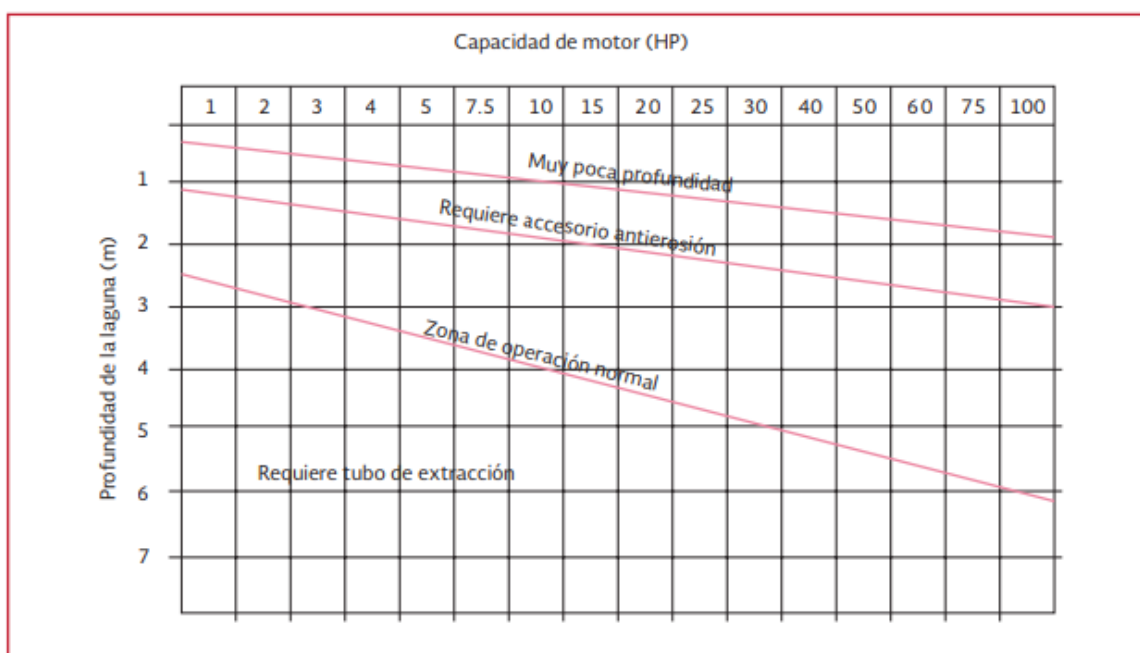


Figura 5. Potencia de aireadores de succión vs profundidad de la laguna

Como se observa en la figura anterior, se requiere mucha potencia y accesorios adicionales instalados en los equipos de aireación para poder lograr una mezcla completa en lagunas mayores a 7 metros de profundidad.

1.7.5 Factores que afectan el tratamiento de las aguas residuales

Oxígeno disuelto

En las lagunas aireadas mecánicamente el oxígeno es proporcionado por inducción a través de los aireadores mecánicos superficiales, y en las lagunas facultativas naturales es proporcionado por las algas. El oxígeno se combina con varias sustancias para formar óxidos y desdobla muchos compuestos de fórmulas moleculares complejas, formando sustancias más simples que pueden servir de alimento para varios microorganismos. Puesto que el oxígeno oxida la materia orgánica, disminuirá en proporción a la cantidad de materia orgánica presente; este proceso se conoce como demanda de oxígeno del desecho, es decir, del agua residual. El agua residual únicamente puede mantener disuelta una cierta concentración de oxígeno. Cuando la cantidad de oxígeno que entra al agua iguala a la máxima cantidad que soporta, se dice que el agua está saturada.

En las lagunas facultativas naturales que contienen algas el agua puede estar sobresaturada con oxígeno. En general, el viento tiende a remover el oxígeno del agua cuando la laguna está sobresaturada. Cuando el oxígeno disuelto es menor a la cantidad de saturación, el viento ayuda a introducirlo en el agua.

La concentración de la materia orgánica puede medirse indirectamente con la DBO. Esta prueba mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en un periodo de 5 días para oxidar la materia orgánica durante ese mismo tiempo. Si la demanda de oxígeno del agua residual que entra a una laguna es mayor que la cantidad que se está introduciendo, los microorganismos aerobios no se desarrollarán, lo que propiciará condiciones de óxido-reducción anaerobias en la laguna, con los subsecuentes problemas operacionales característicos: efluentes turbios, malos olores y crecimiento de microorganismos filamentosos.

Nutrientes

Sin una cantidad suficiente de nutrientes las bacterias no pueden crecer y multiplicarse; aunque también se requieren minerales, los nutrientes indispensables son el nitrógeno y el fósforo. Las aguas residuales municipales generalmente tienen la cantidad suficiente de todos los nutrientes. Una recomendación para evaluar la

disponibilidad de nutrientes es mediante la relación de concentraciones de DBO, nitrógeno y fósforo, los cuales deben encontrarse en proporciones de 100/5/1 respectivamente.

Potencial de hidrógeno

El tratamiento del agua residual mediante lagunas requiere de un ambiente alcalino para operar en óptimas condiciones, con un pH entre 7.5 y nueve. Los operadores deben verificar el pH del afluente para cerciorarse de que no están ingresando sustancias tóxicas a la laguna. El color de las lagunas facultativas naturales se relaciona con el pH y ayuda al operador a predecir problemas. El color verdoso indica un pH alcalino, un color amarillento verdoso indica un pH más bajo. Hay que tener cuidado cuando un viento fuerte agita el fondo de la laguna, o si entran desechos industriales muy coloreados, pues en estos casos el pH puede no estar relacionado con el color. Es recomendable llevar un control de esta variable operativa.

1.8 Equipos de aireación

En la actualidad hay dos tipos principales de aireadores mecánicos que son usados en lagunas aireadas y procesos de lodos activados; se clasifican en superficiales y sumergidos.

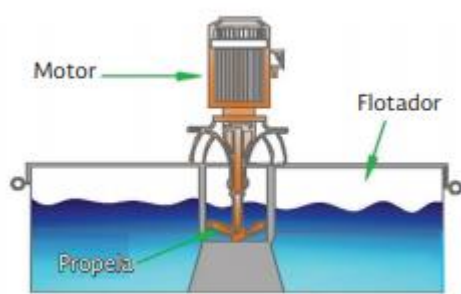
Aireadores superficiales Los aireadores superficiales más empleados en los sistemas de lagunas aireadas son los mecánicos y los del tipo cañón.

Aireadores mecánicos Los aireadores mecánicos constituyen el equipo más simple para sistemas de aireación y son fabricados de 1 a 100 HP de capacidad. Poseen una propela o impulsor conectado a un motor mediante una flecha, y todo esto se monta en una estructura fija de concreto o en flotadores de acero inoxidable o fibra de vidrio rellenos con poliuretano.

Aireadores sumergidos En los aireadores sumergidos, el oxígeno se incorpora al agua residual de la atmósfera introduciendo el aire desde el fondo de la laguna. En el mercado existen dos tipos de aireadores sumergidos, los de motor externo, también llamados tipo turbina, y los de motor sumergido, también conocidos como aireadores mezcladores.

Aireadores tipo turbina En este tipo de aireadores el aire puede introducirse mediante una tubería que va en el fondo del aireador. La turbina se usa para dispersar las burbujas de aire y mezclar el agua de la laguna o tanque de aireación. De acuerdo a la dirección de salida del aire de la turbina se clasifican en flujo axial y flujo radial. En los dos tipos de aireadores, la acción del bombeo ayuda a mantener el contenido de agua residual de las lagunas en condiciones de mezcla parcial o completa.

Aireadores mezcladores En este tipo de aireadores el motor que inyecta el aire a presión forma una unidad con el difusor, produciendo burbujas pequeñas o medianas y un mezclado horizontal. (Residuales, 2015)



1.7.4 Lagunas facultativas o de maduración

Las lagunas facultativas son aquellas que poseen una zona aerobia y una zona anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo. Por tanto, en estas lagunas podemos encontrar cualquier tipo de microorganismo, desde anaerobios estrictos en el fango del fondo hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Sin embargo, los seres vivos más adaptados al medio serán los microorganismos facultativos, que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año. Además de las bacterias y protozoos, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son las principales suministradoras de oxígeno disuelto. (cidta.usal)

1.8 Tratamiento terciario (sedimentación y filtración)

1. El agua de la laguna facultativa es enviada al Clarificador Terciario donde se logra la sedimentación de los lodos biológicos.

Para lograr un proceso de clarificado más completo es necesario la adición de productos químicos, Coagulante-Floculante, que ayudan al proceso de sedimentación de partículas coloidales suspendidas en el agua.

2. Los lodos que resultan de la sedimentación del clarificador terciario pasan a un tanque de lodos biológicos del cual se recirculan a la Laguna de Aireación No. 1

3. El agua tratada es enviada a la sección de Filtros de Carbón Activado, Arena y Grava. Este filtrado permite eliminar parte de la materia sólida restante y adsorber algunos componentes disueltos del proceso, además de una reducción del color.

Se cuentan con ocho filtros que se utilizan alternadamente lo cual permite la regeneración del lecho filtrante a través de una operación de limpieza.

4. Como parte del tratamiento terciario, se realiza una operación de desinfección del agua ya tratada, esta se realiza a través de la aplicación de una solución de Hipoclorito, el cual reduce la población bacteriana. (Pronal, 2018)

1.9 Disposición del agua tratada

Una vez que el agua recorre todo el tren de tratamiento de la PTAR Pronal y después de pasar por los filtros, el agua tratada que recibe el cárcamo de rebombeo se distribuye hacia:

1. Ejido El Rosario

CAPITULO II

METODOLOGIA

Para realizar el monitoreo de la calidad del agua, la gran mayoría de los análisis se realizaron con la ayuda de equipos HACH y el manual de cada uno de ellos.

Parámetro	Equipo HACH	Sonda	Reactivos
Conductividad	HQ40d	CDC 401	Ninguno
pH	HQ40d	PHC101	Ninguno
Temperatura	HQ40d		Ninguno
Oxígeno disuelto	HQ40d	LDO 101	Ninguno
SST	DR 2800	Ninguna	Ninguno
Color	DR 2800	Ninguna	Ninguno
Turbidez	DR 2800	Ninguna	Ninguno
Fosforo	DR 2800	Ninguna	Phosver
Nitritos	DR 2800	Ninguna	Nitriver
Nitratos	DR 2800	Ninguna	Nitraver
DQO	DRB 200 Y DR 2800	Ninguna	Viales DQO HACH

Tabla 1. Parámetros medidos y equipos HACH utilizados

2.1 Equipos HACH

Actualmente, los procesos de tratamiento de potabilización de agua (PTAP) y tratamiento de aguas residuales (PTAR), se han convertido en procesos industriales tales que requieren un alto grado de automatización que promuevan la optimización traducida en bajo consumo de productos químicos, ahorro energético y alta eficiencia en remoción de contaminantes. HACH es la marca líder del mercado en análisis de calidad de agua en laboratorio e instrumentación en línea. Las soluciones de HACH permiten monitorear y controlar, con alta precisión y en tiempo real las variables críticas en los diferentes tratamientos y procesos del agua, tales como: pH, turbiedad, cloro, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, TOC / DBO / DQO. Estas variables son comunicadas a los sistemas de control permitiendo monitorear la dinámica de las plantas y diseñar estrategias de control de proceso que permitan optimizar los procesos, mejorar tiempos de respuesta ante perturbaciones y bajar consumos energéticos. (HACH, 2018)

2.1.2 HACH DR 2800

El espectrofotómetro DR 2800 es un espectrofotómetro del espectro visible, con un rango de longitud de onda de 340 a 900 nm, para análisis de laboratorio y de campo. Se suministra con un juego completo de programas de aplicación y un soporte en múltiples idiomas. El espectrofotómetro DR 2800 contiene los modos de aplicación siguientes: Programas almacenados (test preinstalados), Programas de códigos de barras, Programas del usuario, Programas favoritos, Modo Longitud de onda única, Modo Longitud de onda múltiple y Modo lapso de tiempo. El espectrofotómetro DR 2800 suministra lecturas digitales en unidades directas de concentración, absorbancia o porcentaje de transmitancia. (HACH, 2005)

2.1.3 HACH HQ40 d

Los medidores portátiles de la serie HQd se usan con sondas digitales IntelliCAL™ para medir diversos parámetros en agua. El medidor reconoce automáticamente el tipo de sonda que se le conecta. Los datos de medición se pueden guardar y transferir a una impresora, PC o dispositivo de almacenamiento USB. El HQ40d:

- reconoce parámetros y sonda automáticos
- Procedimientos de calibración de instrumentos guiados
- Datos de calibración almacenados en la sonda
- Configuración del método específica de la sonda para cumplir las normativas y la práctica GLP (Good Laboratory Practice, Buenas prácticas de laboratorio) •
- Opciones de seguridad
- Registro de datos en tiempo real mediante conexión USB 6 español
- Conectividad USB con PC, impresora, dispositivo de almacenamiento interno, teclado por medio de una conexión de puertos serie virtuales. (HACH, 2017)

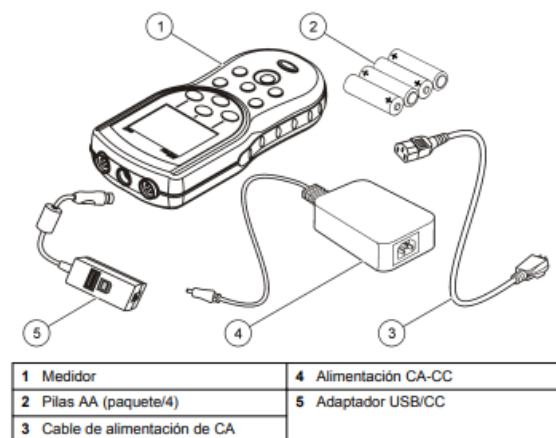


Figura 5. Componentes del medidor portátil HQd

2.2 Toma de muestras

El monitoreo de la calidad del agua se realizó en 15 puntos distintos de muestreo, estos puntos se muestran a continuación:

1. Canal afluente
2. Desarenador
3. Salida de filtros parabólicos
4. Fosa de regulación
5. Salida Krofta
6. Salida del poseidón 2
7. Entrada al poseidón 1
8. Salida del poseidón 1
9. Tanque de lodos
10. Entrada a la laguna 1
11. Salida de la laguna 1
12. Salida de la laguna 2
13. Salida de la laguna 3
14. Salida del clarificador terciario
15. Efluente

1.1.1 Recomendaciones para realizar el muestreo

- Antes de llenar el envase con la muestra, es necesario enjuagar 2 o 3 veces con el agua que se va a tomar, a menos que el envase contenga un conservante o decolorante.
- Se debe hacer un registro de todas las muestras tomadas e identificar cada envase, de preferencia pegando una etiqueta debidamente señalada.
- La toma debe realizarse con cuidado, al objeto de garantizar que el resultado analítico represente la composición real.
- Nunca deben colocarse alimentos cerca de las muestras o de los lugares de toma.
- Cuanto menor sea el tiempo que transcurre entre la toma de la muestra y su análisis, más fiable será el resultado de este.
- Es imposible establecer con exactitud el tiempo máximo que puede transcurrir entre la toma de la muestra y el análisis, esto dependerá del carácter de la muestra, el tipo de análisis a realizar y las condiciones de la conservación.
- Usar el equipo de protección personal adecuado para evitar un posible accidente.

2.3 Equipo de protección personal

El equipo y los materiales de protección personal están formados por guantes, zapatos, cascos, gafas, escudos protectores contra radiación y otros artículos de seguridad que debe utilizar cada individuo. Su elección y uso dependen de las distintas tareas que vayan a realizarse. Este equipo es importante para la protección, también sirve como recordatorio constante de la necesidad de adoptar medidas de seguridad.

- a) Indumentaria: La ropa crea una barrera entre el individuo y el peligro. Los trabajadores han de cambiar su indumentaria de calle por ropa de laboratorio al entrar en la zona de trabajo, y cambiarse de nuevo a la salida.
- b) Guantes: Suelen ser importantes. Consúltense las hojas de datos sobre seguridad en el manejo de materiales para conocer el tipo de guantes que resulta más adecuado para un disolvente o reactivo determinado.

- c) Calzado Protector: Es necesario en los laboratorios en los que trasladan objetos o instrumental pesados. Cuando se trabaje con máquinas situadas en el nivel elevado, puede ser necesario llevar casco protector.
- d) Gafas Protectoras: Aunque la posibilidad parezca pequeña, las consecuencias de un accidente ocular pueden ser extraordinariamente graves. En la mayoría de los laboratorios está prohibido el uso de lentillas de contacto con las gafas protectoras. Las gafas de seguridad protegen de las salpicaduras, del impacto de objetos, del polvo y de la exposición a la luz ultravioleta. No obstante, las gafas que suelen emplearse no proporcionan una seguridad total al ojo.
- e) Respiradores: Conviene disponer de respiradores para aquellas situaciones de emergencia en las que se formen gases, humos o aerosoles peligrosos y deba entrarse en la habitación antes de que esté totalmente ventilada.

2.4 Manual de análisis utilizado en la planta de tratamientos de aguas residuales industriales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V.

Como se mencionó anteriormente la mayoría de los análisis que se hacen para monitorear la calidad del agua en la PTAR Pronal, se realizan con la ayuda de equipo y reactivos HACH.

A continuación, se muestran las técnicas utilizadas en el laboratorio del efluente, con las que se generaron la medición de los parámetros establecidos para determinar la calidad del agua.

2.4.1 Determinación de Turbidez

Procedimiento:

1. Encender el equipo HACH DR 2800.
2. Oprimir la tecla de Programas Favoritos que aparece en el display principal.
3. Colocar el programa 950 Turbidez.
4. Presionar la tecla Inicio.

5. Colocar una celda con 10 ml de agua destilada (ésta será el blanco) en el interior del equipo y cerrar la tapa.
6. Oprimir la tecla Cero y en el display aparecerá 0 FTU.
7. Agitar la muestra a analizar.
8. Colocar 10 ml de muestra del área a analizar en otra celda e introducirlo en el equipo, cerrar la tapa y presionar la tecla Medición.
9. Lavar cuidadosamente las celdas.
10. Realizar el procedimiento para cada una de las muestras a analizar.
11. El resultado aparecerá en el display en FTU, reportarlo en el Formato correspondiente.

NOTAS IMPORTANTES:

- Se debe determinar la Turbidez el mismo día en que se toma la muestra.
- Agitar vigorosamente todas las muestras antes de analizarlas.
- Mantener las celdas escrupulosamente limpias por dentro y por fuera, descartando las rayadas o manchadas, ya que estas interfieren en el resultado del análisis.
-

2.4.2 Determinación de Color

Procedimiento:

1. Encender el aparato HACH DR 2800.
2. Oprimir la tecla de Programas Favoritos que aparece en el display principal.
3. Colocar el programa 120 color 455nm.
4. Presionar la tecla Inicio.
5. Colocar una celda con 10 ml de agua destilada (ésta será el blanco) en el interior del equipo y cerrar la tapa.
6. Oprimir la tecla Cero y en el display aparecerá 0 UPt-Co.
7. Colocar 10 ml de muestra del área a analizar en otra celda e introducirla en el equipo, cerrar la tapa y presionar la tecla Medición.
8. Lavar las celdas.
9. Realizar el procedimiento para cada una de las muestras a analizar.

10. El resultado aparecerá en el display en Pt-Co, reportarlo en el Formato correspondiente.

NOTAS IMPORTANTES:

- Realizar la prueba colorimétrica dentro de un plazo razonable.
- En caso de que el valor que indique el display sea mayor a 500 UPt-Co, es necesario realizar una dilución.

2.4.3 Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) Método HACH DR 2800

Procedimiento:

1. Encender el equipo HACH DR 2800.
2. Oprimir la tecla de Programas Favoritos que aparece en el display principal.
3. Colocar el programa 630 Sólidos en Suspensión y presionar la tecla Inicio.
4. Colocar una celda con 10 ml de agua destilada (ésta será el blanco) en el interior del equipo y cerrar la tapa.
5. Oprimir la tecla Cero y en el display mostrará 0 mg/l SST.
6. Colocar 10 ml de muestra del área a analizar en otra celda e introducirlo en el equipo, cerrar la tapa y presionar la tecla Medición.
7. Lavar las celdas.
8. Realizar el procedimiento para cada una de las muestras a analizar.
9. El resultado aparecerá en el display en mg/l, reportarlo en el Formato correspondiente.

2.4.4 Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Procedimiento:

1. Encender el Reactor HACH DRB 200 y seleccionar el programa para DQO (el DBR comenzará a subir la temperatura hasta los 150 °C avisando con una alarma cuando se encuentre listo).
2. Identificar cada uno de los viales con el lugar de la muestra correspondiente.

3. Homogenizar la muestra.
4. Retirar la tapa de un vial de reactivo de digestión DQO del rango deseado.
5. Sostener el vial a un ángulo de 45°C.
6. Pipetear 2 mL de agua destilada dentro del vial, este fungirá como el blanco de las muestras.
7. Para la muestra de Entrada a Lagunas, pipetear 1 mL de agua destilada y 1 mL de muestra dentro del vial.
8. Para las muestras demás muestras, pipetear 2 mL de la muestra dentro del vial.
9. Cerrar el vial con mucho cuidado y asegurándose de ajustar la tapa correctamente.
10. Sujetar el vial por la tapa y sobre un vertedero mezclar suavemente.
11. Colocar el vial en el reactor DQO previamente calentado.
12. Una vez colocados los viales en el digestor, seleccionar en el display del DRB iniciar, comenzará a contar el tiempo de reacción de 2 horas.
13. Una alarma avisará que el tiempo de digestión ha finalizado y el reactor se apagará.
14. Esperar aproximadamente 20 min. para que los viales se enfríen hasta 120 °C o menos.
15. Agitar suavemente cada vial varias veces mientras esté todavía caliente.
16. Colocar los viales en un rack y esperar hasta que los viales estén fríos para poderlos tocar.
17. Encender el aparato HACH DR 2800.
18. Oprimir la tecla de Programas Favoritos que aparece en el display principal.
19. Colocar el programa 435 DQO RA. 20. Y presionar la tecla Inicio.
20. Abrir el compartimiento y colocar el protector de luz de manera que la flecha sobre éste apunte a la izquierda y la pestaña de orientación encaje en la ranura de la abertura del compartimiento.
21. Limpiar la parte exterior del vial del blanco con una toalla y colocarlo en el interior del equipo y cerrar con la funda protectora para mediciones.
22. Oprimir la tecla Cero y el display mostrará 0 mg/l DQO.

23. Limpiar la parte exterior del vial de la muestra con una toalla y colocarlo en el interior del equipo, cerrar con la funda protectora y presionar la tecla Medición.
24. El resultado aparecerá en el display en mg/l, reportarlo en el Formato correspondiente.

NOTAS IMPORTANTES:

- Mezclar completamente los viales antes de aplicar calor, para evitar el calentamiento local del fondo del vial y una posible reacción explosiva.
- Mantener los viales no usados en el recipiente opaco de envío, ya que la mezcla de reactivo es sensible a la luz.
- La cantidad de luz que reciben los viales durante el análisis no afecta los resultados.
- El reactivo vertido afectará la exactitud del análisis y es peligroso para la piel y para otros materiales. No efectúe análisis con viales en los que se haya derramado reactivo. Si se vierte algo, lave con agua corriente.
- Asegurarse que la pipeta se encuentre limpia.

2.4.5 Determinación de Sólidos Sedimentables

Procedimiento:

1. Agitar vigorosamente cada una de las muestras.
2. Vaciar las muestras en los Conos Imhoff.
3. Dejar sedimentar las 3 muestras durante 45 minutos.
4. Pasado el tiempo, con el agitador remover las paredes de los conos suavemente.
5. Dejar reposar las muestras nuevamente durante 15 minutos más.
6. Pasado el tiempo, tomar lectura del volumen (ml/l) obtenido.
7. El resultado, reportarlo en el Formato correspondiente.

NOTA IMPORTANTE:

En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

2.4.6 Determinación de Fósforo

Procedimiento:

1. Encender el aparato HACH DR 2800.
2. Oprimir la tecla de Programas Favoritos que aparece en el display principal.
3. Colocar el programa 490 P react PV.
4. Presionar la tecla Inicio.
5. Llenar un tubo de ensaye con 25 ml de la muestra.
6. Añadir el contenido de un sobre de Reactivo Phosver 3 al tubo de ensaye que contiene la muestra preparada.
7. Agitar inmediatamente para mezclar. (En presencia de Fosfato, aparecerá un color azul).
8. Presionar el Timer y comenzará un periodo de reacción de 2 minutos.
9. Llenar una celda con 10 ml de la muestra a verificar (blanco), colóquela en el porta celdas y cierre la tapa.
10. Al sonar el Timer, el display mostrará mg/l de PO₄-PV.
11. Presionar la tecla Cero.
12. Colocar 10 ml del tubo en otra celda en el interior del equipo, cerrar la tapa y presionar la tecla Medición.
13. El resultado mostrado en el display, reportarlo en el Formato correspondiente.
14. Realizar el procedimiento para cada una de las muestras a analizar.

1.4.7 Determinación de Conductividad

Procedimiento:

1. Conectar la sonda de Conductividad al equipo HACH HQ40d.
2. Encender el equipo HACH HQ40d, cuidando que el electrodo esté inmerso en agua destilada.
3. Enjuagar el electrodo con agua destilada, introducirlo en la muestra a analizar y oprimir la tecla Medición.
4. Cuando el display muestre el candado, la medición estará lista.
5. Reportar los resultados obtenidos.

NOTAS IMPORTANTES:

- El electrodo se debe enjuagar cuidadosamente con agua destilada cada que se vaya a analizar una muestra.

1.4.8 Determinación de pH

Procedimiento:

1. Conectar el Sensor de pH en el equipo HACH HQ40d.
2. Encender el Equipo HQ40d.
3. Enjuagar el electrodo con agua destilada e introducirlo en la muestra a analizar.
4. Oprimir la tecla medir.
5. Cuando el display muestre el candado, la medición estará lista.
6. Reportar los resultados obtenidos en el Formato Correspondiente.

NOTAS IMPORTANTES:

- El electrodo se debe enjuagar con agua destilada cada que se vaya a analizar una muestra. Cuando el electrodo no se use, mantenerlo inmerso en la solución de conservación. Cambiar la solución de conservación cada que sea necesario.

1.4.9 Determinación de Oxígeno Disuelto

Procedimiento:

1. Conectar el Sensor de Oxígeno Disuelto en el equipo HACH HQ40d.
2. Encender el equipo HACH HQ40d.
3. Introducir el sensor en la Laguna a analizar.
4. Oprimir la tecla Medición.
5. Cuando el display muestre el candado, la medición estará lista.
6. Reportar los resultados de Oxígeno y Temperatura (°C) obtenidos.

NOTAS IMPORTANTES:

- Al término del análisis de las lagunas, lavar con abundante agua el electrodo para evitar la contaminación del elemento sensor y el englobamiento de burbujas diminutas de aire bajo la membrana que pueden dar lugar a una menor respuesta y a una corriente residual elevada.

1.4.10 Determinación de Nitritos

Procedimiento:

1. Encender el equipo HACH DR 2800.
2. En el display principal oprima la tecla de Programas Favoritos.
3. Colocarse en el programa almacenado para 373 RA PP.
4. Presione la tecla Inicio.
5. Presione la tecla del temporizador y aparecerá los tiempos establecidos para agregar el reactivo.
6. Tomé una muestra de 10 ml en un tubo de ensaye y agregue el reactivo NitrVer, pulse la tecla OK: tiempo de reacción (10 min).
7. Después de pasar los 10 min. llene un frasco porta muestras de 10 ml con agua de muestra (blanco).
8. Introduzca el blanco en el equipo cierre la tapa y presione la tecla Cero.
9. Introduzca la muestra preparada en el equipo cierre la tapa y presione la tecla Medición.

10. El resultado aparecerá en el display en mg/l de NO₂⁻. 11. Reporte el resultado.
- 11.

1.4.11 Determinación de Nitratos

Procedimiento:

1. Encender el equipo HACH DR 2800.
2. En el display principal oprima la tecla de Programas Favoritos.
3. Colocarse en el programa almacenado para 355 RA PP.
4. Presione la tecla Inicio.
5. Presione la tecla del temporizador y aparecerá los tiempos establecidos para agregar el reactivo.
6. Tómese una muestra de 10 ml en un tubo de ensaye y agregue el reactivo NitraVer, pulse la tecla OK: (1 min para agitación y 5 min tiempo de reacción).
7. Después de pasar los 6 min. llene un frasco porta muestras de 10 ml con agua de muestra (blanco).
8. Introduzca el blanco en el equipo cierre la tapa y presione la tecla Cero.
9. Introduzca la muestra preparada en el equipo cierre la tapa y presione la tecla Medición.
10. El resultado aparecerá en el display en mg/l de N-NO₃⁻. 11. Reporte el resultado

CAPITULO III

RESULTADOS

Los parámetros que se monitorearon en Planta de tratamientos de aguas residuales Pronal, generadas por la fabricación de papel, son los siguientes:

Parámetros	Físicos	• Color • Turbidez • Sólidos sedimentables • Sólidos suspendidos totales • Temperatura • Conductividad
	Químicos	• DQO • pH • Oxígeno disuelto • Flúor • Nitritos • Nitratos • Fosforo
	Biológicos	• Presencia de bacterias y algas en las lagunas

Tabla 2. Parámetros para medir según sus características

En el monitoreo de la calidad del agua en la PTAR Pronal es necesario medir algunos parámetros en campo, es decir llevar un equipo a las lagunas para tener mediciones más reales y de esta manera disminuir la incertidumbre en los resultados, como por ejemplo la medición del oxígeno disuelto y la temperatura.

3.1 Condiciones límites del manual de Operaciones de la PTAR Pronal

La planta de tratamientos de aguas residuales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V. cuenta con un manual de operaciones, a la siguiente tabla se muestran los valores de operación para cada parámetro:

Parámetro	Valores de operación		Tratamiento
SST en agua Clarificada	<300 ppm		Primario
Oxígeno Disuelto Laguna 1	>0.09 ppm		Secundario
Oxígeno Disuelto Laguna 2	>0.1 ppm		
Salida del Clarificador	SST (ppm)	<200	Terciario
	Turbidez(ppm)	<800	
	Color U Pt-Co	<2000	
Cárcamo de Rebombeo	SST (ppm)	< 150	Terciario
	Turbidez(ppm)	<600	
	Color U Pt-Co	<1500	

Según el manual de operaciones elaborado en Productora Nacional de Papel para el funcionamiento óptimo de la PTAR, los valores de la tabla anterior no deben ser superados, por lo que en todo momento se busca que la calidad del agua este dentro de los parámetros establecidos.

Aunque el manual no especifica los valores de pH en las lagunas, CONAGUA señala que el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas requiere de un ambiente alcalino para operar en óptimas condiciones, con un pH entre 7.5 y nueve.

Para poder alcanzar estas metas es necesario monitorear continuamente el comportamiento del agua a lo largo del tren de proceso, ya que las condiciones pueden ser tan cambiantes a lo largo del día, se recomienda realizar el monitoreo a una hora establecida.

El monitoreo de la calidad del agua se llevó a cabo del mes de agosto al mes de noviembre del 2018 en un horario de 9:00 am a 10:30 am. A continuación, se muestran los promedios mensuales en los distintos puntos de muestreo en el tratamiento secundario de la PTAR Pronal.

3.2 Conductividad

La conductividad es una característica química de las aguas residuales, las muestras que se toman en los diferentes puntos de muestreo son llevadas al laboratorio donde se mide este parámetro con la ayuda del equipo HACH HQ40d.

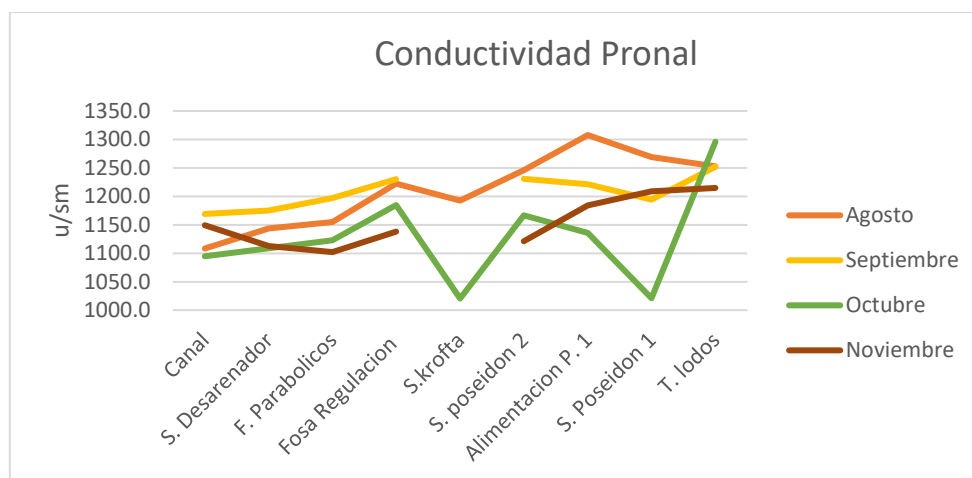
Conductividad $\mu\text{/sm}$

Mes	Canal afluente	Salida desarenador	Filtros parabolicos	Fosa de regulación	Salida krofta	Sal. Poseidon 2	Alim. Poseidon 1	Sal. Poseidon 1	Tanque Lodos
Agosto	1108.3	1143.3	1155	1222.4	1192.6	1245.7	1307.7	1269	1252.5
Septiembre	1169.1	1175.4	1197.3	1230	F/S	1231	1221	1194	1252
Octubre	1094.73	1109	1123.09	1184.75	1020.5	1166.91	1135.91	1135.75	1021
Noviembre	1149.4	1112.8	1102	1138	F/S	1121	1184	1208.6	1214.75

Tabla 3. Promedios mensuales de los valores de conductividad, tratamiento primario

En ocasiones el Clarificador Krofta se encuentra fuera de servicio, esto se debe a que con los Poseidones 1 y 2 es suficiente para limpiar el agua y tener la calidad que se establece en el manual de operaciones.

Sin embargo, cuando la fosa de regulación se encuentra a su máxima capacidad o el flujo de alimentación a los equipos DAF supera los 5000 l/min, lo que provoca que los equipos no sean capaces de limpiar el agua de manera adecuada, es entonces cuando es necesario poner en funcionamiento el Krofta.



Grafica 1. Conductividad Tratamiento Primario

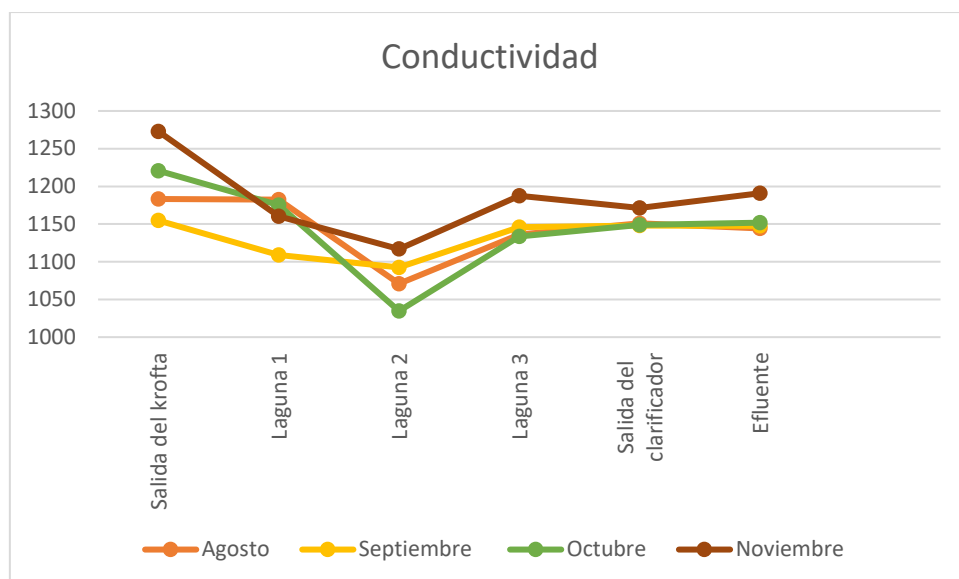
A diferencia de lo que ocurre con el comportamiento de la conductividad en el tratamiento secundario en donde los valores son muy parecidos, en el tratamiento primario los valores de conductividad tienden a ser muy variables, ya que en este punto del tratamiento el agua aún posee mayor cantidad de fibra y disueltos en el agua productos químicos utilizados en el área de producción, variando según el tipo de papel que estén elaborando.

Conductividad $\mu\text{/sm}$

Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	1183.25	1182.3	1170.9	1136.1	1151.1	1144.13
Septiembre	1154.8	1108.8	1092.5	1146.1	1148.1	1147.7
Octubre	1220.8	1175.2	1034.6	1133.7	1149.1	1151.9
Noviembre	1273	1160.5	1116.8	1187.4	1171.3	1190.8

Tabla 4. Promedios mensuales de los valores de conductividad, tratamiento secundario y terciario.

Los promedios mensuales para cada punto de muestreo se representan en la siguiente gráfica.



Grafica 2. Conductividad tratamiento secundario y terciario.

La conductividad mide la capacidad del agua de conducir electricidad y de manera indirecta la cantidad de iones de sales disueltas en el agua. La salida del krofta (entrada a la laguna 1) y la laguna 1, son los puntos en los que se observa una variación notable, esto probablemente se deba a que la calidad del agua de entrada a las lagunas no es la misma todos los días.

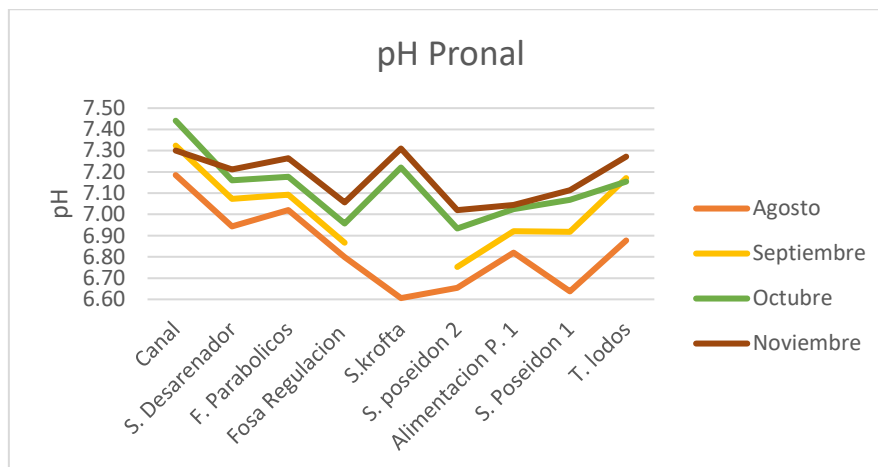
3.3 pH

El pH es la forma de medir la acidez o basicidad de una disolución acuosa. El sistema de lagunas de la planta de tratamientos debe mantener un pH alcalino de 7.5 a 9. Las bacterias encargadas de la degradación de la materia orgánica son muy susceptibles a los cambios de pH por lo que es muy importante su monitoreo.

Los valores que se muestran en la siguiente tabla, son los promedios mensuales generados del monitoreo de la calidad del agua.

Mes	Canal afluente	Salida desarenador	Filtros parabolicos	Fosa de regulación	Salida krofta	Sal. Poseidon 2	Alim. Poseidon 1	Sal. Poseidon 1	Tanque Lodos
Agosto	7.19	6.94	7.02	6.8	6.61	6.65	6.82	6.64	6.88
Septiembre	7.32	7.07	7.09	6.87	F/S	6.75	6.92	6.92	7.17
Octubre	7.44	7.16	7.18	6.96	7.22	6.93	7.03	7.07	7.16
Noviembre	7.3	7.21	7.264	7.05	7.71	7.02	7.04	7.11	7.27

Tabla 5. Promedios mensuales en la medición de pH, tratamiento Primario



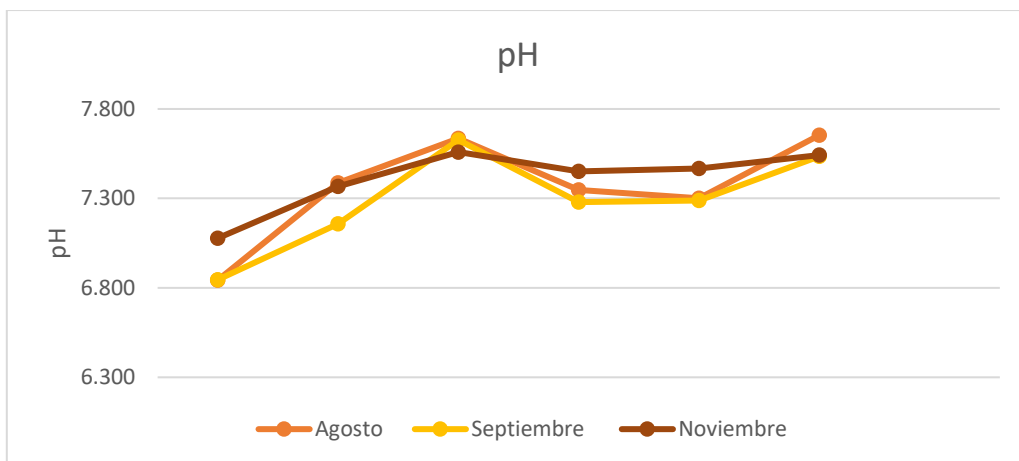
Grafica 3. pH Tratamiento Primario

El monitoreo de la calidad del agua en el tratamiento primario se inició en el mes de agosto, por lo que, observando la gráfica, existe un incremento mensual en los valores de pH. Existen diferentes factores que afectan el pH y uno de los más importantes es la temperatura, posiblemente ese sea la principal causa de este fenómeno.

Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	6.84	7.39	7.64	7.35	7.3	7.65
Septiembre	6.85	7.16	7.63	7.28	7.29	7.54
Octubre	7.02	7.24	7.58	7.21	7.24	7.48
Noviembre	7.08	7.37	7.36	7.45	7.47	7.54

Tabla 5. Promedios mensuales en la medición de pH, tratamiento secundario y terciario

Los promedios mensuales en el monitoreo del pH se muestran en la siguiente gráfica:



Grafica 4. pH tratamiento secundario y terciario.

Se observa en la tabla 5 el monitoreo de la calidad del agua en los tratamientos secundario y terciario, los valores mensuales del efluente nos indican que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021 que van de 6.0 a 9.0 por lo que la calidad del agua cumple con esta normativa.

3.4 Temperatura

La temperatura en las aguas residuales es provocada por la degradación de materia orgánica y múltiples reacciones químicas llevadas a cabo por las bacterias en este proceso de descomposición.

En el proceso de producción de papel, el agua llega a canal del afluente con una temperatura promedio de 35 °C. La temperatura del agua disminuye conforme avanza por el tren de tratamiento, y varía dependiendo la hora del día.

La temperatura es una prueba de campo, es decir, se mide in situ, esto nos ayuda a tener valores más reales y evitamos tener errores en las mediciones.

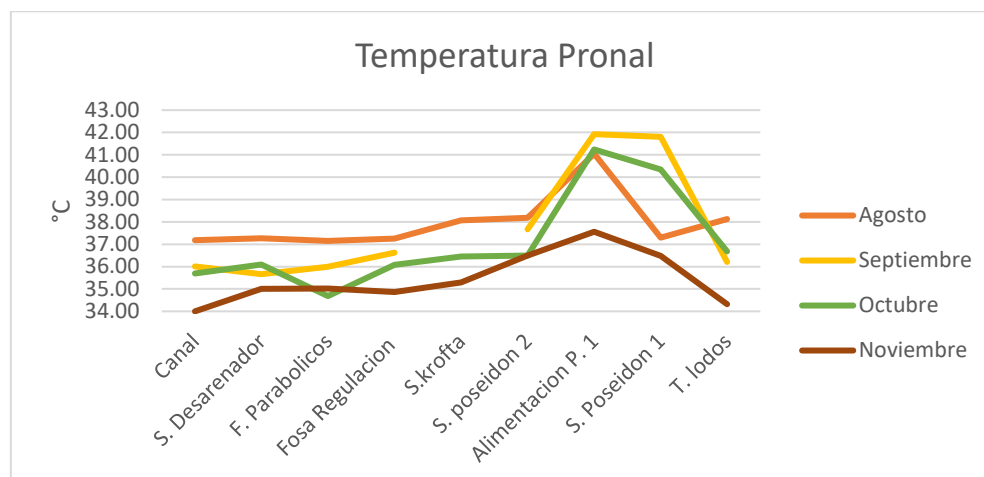
Temperatura °C

Mes	Canal afluente	Salida desarenador	Filtros parabolicos	Fosa de regulación	Salida krofta	Sal. Poseidon 2	Alim. Poseidon 1	Sal. Poseidon 1	Tanque Lodos
Agosto	37.18	37.27	37.15	37.25	38.08	38.18	41.05	37.3	38.13
Septiembre	36.01	35.66	36	36.63	F/S	37.66	41.9	49.8	36.21
Octubre	35.7	36.1	34.68	36.07	36.45	36.5	41.24	40.35	36.7
Noviembre	34	35	35.02	34.86	35.3	36.5	37.56	36.48	34.3

Tabla 6. Promedios mensuales en la medición de la temperatura, tratamiento primario

El agua del canal alimenta tanto al krofta cuando está en operación como al poseidón 2, por lo que se observan valores similares en la temperatura.

En cambio, el poseidón 1, se alimenta con agua de la maquina 1 y la maquina 2, debido a esto la temperatura es superior al no pasar por el canal a cielo abierto y caer directamente en un tanque para ser bombeada posteriormente al poseidón 1.



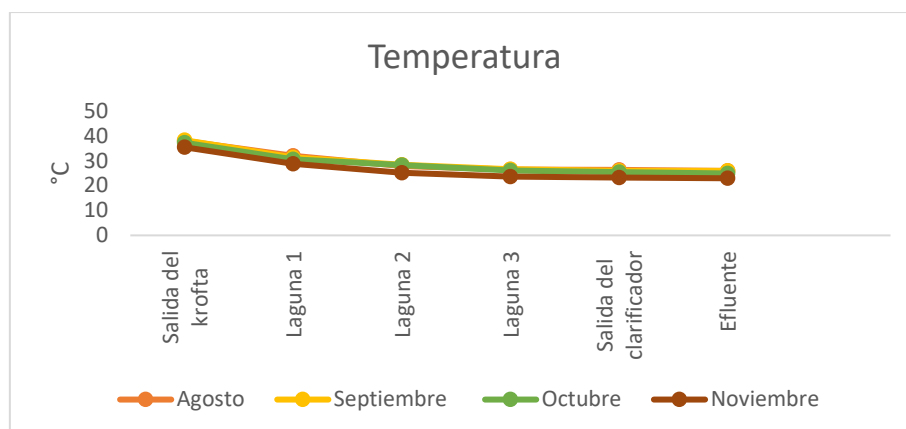
Grafica 5. Temperatura, tratamiento primario

Temperatura

Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	37.96	32	27.82	26.46	26.3	25.89
Septiembre	38.24	31.33	28.32	26.62	25.91	25.93
Octubre	37.2	30.5	28.2	26	25.4	24.9
Noviembre	35.42	28.82	25.1	23.65	23.29	22.94

Tabla 7. Promedios mensuales en la medición de la temperatura, tratamiento secundario y terciario

Los promedios mensuales en el monitoreo de la temperatura se muestran en la siguiente gráfica:



Grafica 6. Temperatura, tratamiento secundario y terciario.

La temperatura es un parámetro que por lo regular se mantiene constante, esto se debe a que las lagunas en donde se lleva a cabo el proceso biológico están expuestas a la temperatura del medio ambiente, por lo que no vemos diferencias significativas.

3.5 SST HACH

Los SST, parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión. (Wikipedia, 2015)

Se le denomina HACH por la marca de espectrofotómetro en donde se realiza esta medición.

Para tener una idea más clara del comportamiento de los sólidos suspendidos totales a lo largo del tratamiento secundario y terciario, los valores se expresan en la siguiente tabla.

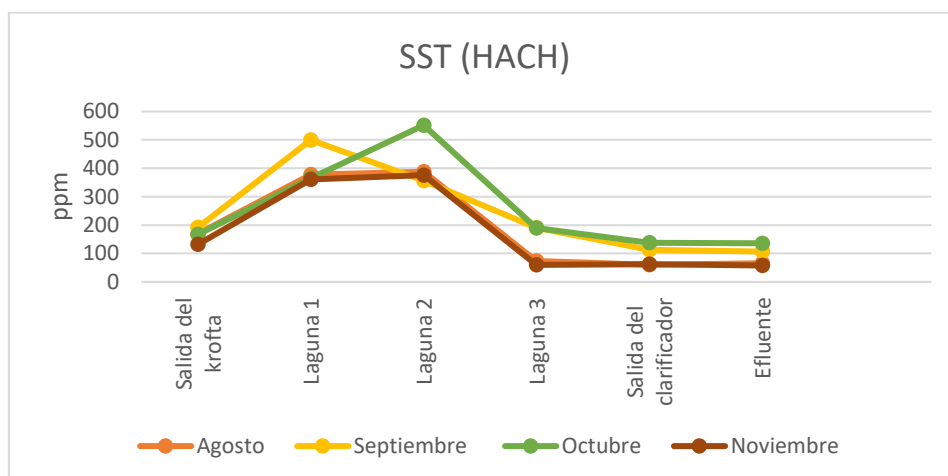
SST HACH (ppm)

Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	169.25	377.5	387.81	73.75	60.5	65.93
Septiembre	192.17	499.94	355.83	191.22	113	106.83
Octubre	169.9	365.6	551.5	189.1	137.6	136
Noviembre	132.5	361.14	376	60.36	62.4	57.77

Tabla 6. Promedios mensuales en el monitoreo de los SST HACH tratamiento secundario y terciario

En el mes de octubre no fue posible tomar la muestra de recirculación debido a que la bomba utilizada se encontraba fuera de servicio. La recirculación se realiza de la laguna 2 a la laguna 1 y su principal objetivo es el de mejorar la actividad microbiológica, asegurando de esta manera una población de bacterias sanas, capaces de degradar la mayor cantidad de materia orgánica disuelta en el agua.

De los valores mensuales obtenidos del monitoreo de los diferentes puntos de muestreo, se obtuvo la siguiente gráfica, donde podemos observar el comportamiento en cada mes.



Grafica 5. SST HACH

El proceso de degradación de la materia orgánica más importante se lleva a cabo en la laguna 1 y 2, en donde las bacterias aeróbicas son las encargadas eliminar la materia orgánica flotante, dichas lagunas son de mezcla parcial, es decir una cantidad de lodos sedimentan y otra parte se mezcla con el agua. En este tratamiento es sumamente importante mantener una cantidad idónea de oxígeno disuelto, el hecho de dejar algún equipo de aireación fuera de servicio significa una limitante importante, un incremento en los SST y por supuesto una mala calidad del agua.

3.6 Color

El color en el agua puede deberse a la presencia del contenido natural de metales o iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales. Por lo general se elimina el color para cualquier propósito de uso del agua. Es por ello, importante la determinación de color en aguas naturales. (economía, 2001) El color es una forma de calcular de manera indirecta la calidad del agua que se obtiene durante el proceso de tratamiento, y es provocado además por la presencia de partículas coloidales disueltas en el agua.

Color U Pt-Co

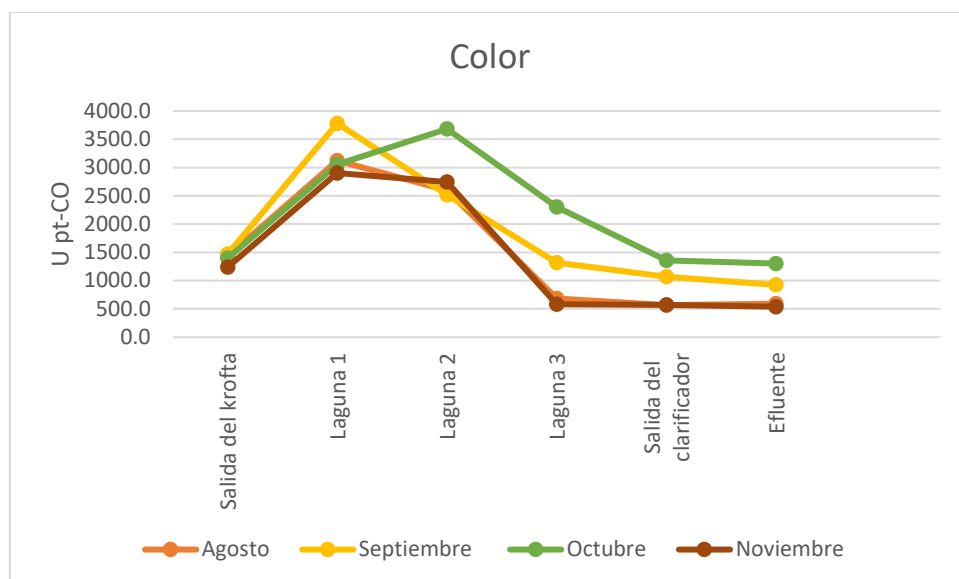
Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	1428.2	3121.25	2595.69	684.19	566.29	591.25
Septiembre	1467.06	3780	2516.11	1316.61	1070.6	924.17
Octubre	1397.1	3054	3681.4	2301.7	1356.3	1302.4
Noviembre	1237.5	2903.21	2740.64	580.36	567.9	538.31

Tabla 7. Promedios mensuales en el monitoreo del color

El color es un parámetro muy variable en la planta de tratamiento de Productora Nacional de papel S.A. DE C.V., y las causas de variaciones tan notorias podrían deberse:

- Mal funcionamiento y poca degradación de la materia orgánica en las lagunas.
- Falta de Oxígeno Disuelto en las lagunas, lo que limita una actividad microbiológica adecuada.
- Tratamiento primario inadecuado en los equipos DAF.

Para tener una perspectiva más amplia de dichos comportamientos, los promedios mensuales en cada punto de muestreo se graficaron como se muestra a continuación.



Grafica 6. color

La calidad de agua depende en muchas ocasiones del uso que se le piensa dar, como el agua se utiliza para riego ejidal, resulta un tanto complejo definir los niveles máximos permisibles en U Pt-Co. En los meses de agosto y septiembre se puede observar cierta similitud en los valores, mientras que en octubre los valores de color tienden a aumentar, esto se podría explicar ya que en las lagunas de aireación varios equipos encargados de suministrar el oxígeno se encuentran fuera de servicio, lo que provoca que a la laguna facultativa número 3, la cantidad de materia orgánica aun sea abundante, provocando que las bacterias no sean capaces de degradarla y por lo tanto la formación de lodos flotantes, que contaminan y ensucian el agua.

3.7 Turbidez

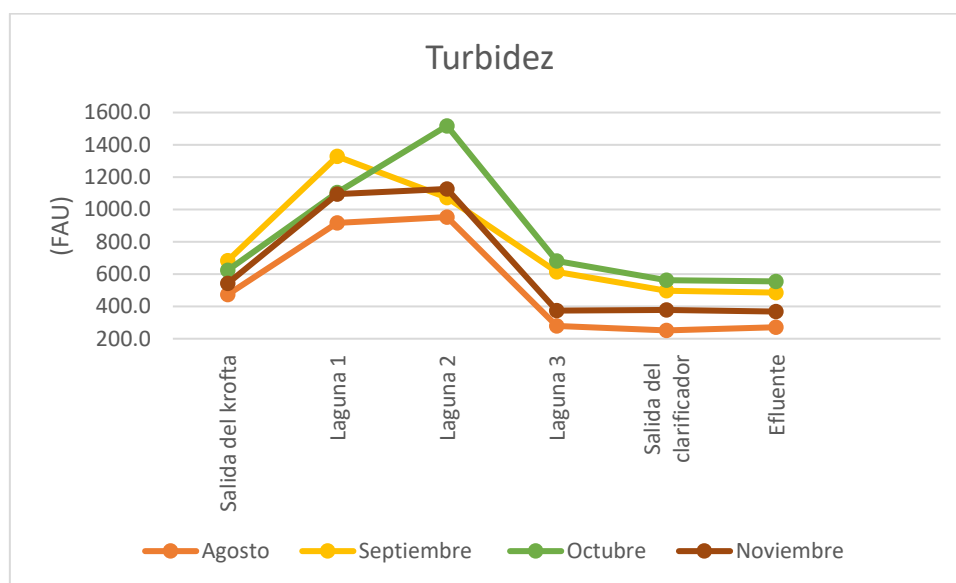
La turbidez es una característica óptica que en términos generales describe la claridad u opacidad del agua. La turbidez impide en las aguas el paso de la luz del sol y por lo tanto imposibilita la generación de un tipo de vida, ya sea animal o vegetal.

Turbidez (FAU)

Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	473.2	916.13	952.93	279.89	251.51	271.9
Septiembre	684.06	1328.22	1073.78	613.28	497	485.4
Octubre	623.4	1104.1	1517.7	681.5	561.9	55.9
Noviembre	542.08	1095.15	1127.08	373.23	378.9	368.08

Tabla 8. Promedios mensuales en el monitoreo de la turbidez.

La turbidez, así como los SST y el color se verán afectadas por las partículas coloidales disueltas en las aguas residuales industriales, compuestas en gran medida por fibra del proceso de fabricación de papel.



Grafica 7. Turbidez

3.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La forma más sencilla de definir DQO es, la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en un agua residual. En el tratamiento secundario y terciario, la DQO debe ir disminuyendo ya que de una manera indirecta también medimos la cantidad de materia orgánica, misma que debe reducirse conforme pasa por las lagunas y demás procesos en el tratamiento terciario.

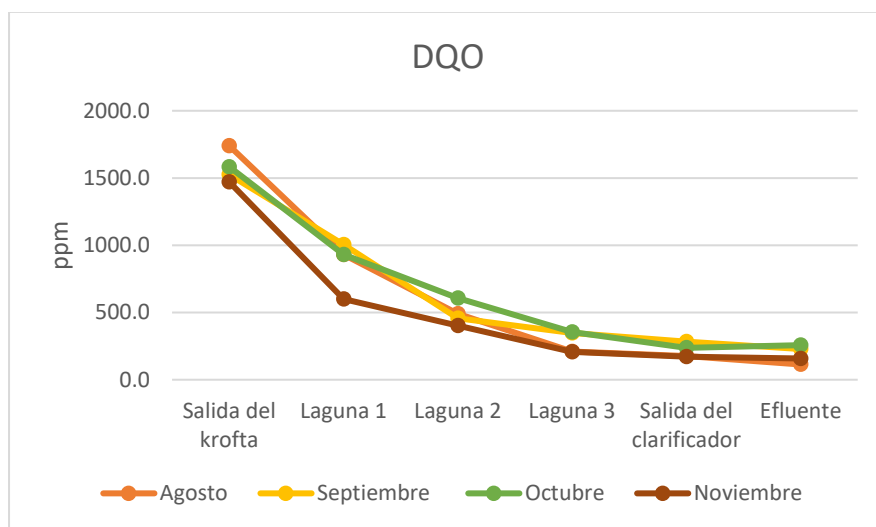
Del monitoreo de la calidad del agua, específicamente del parámetro DQO los valores generados se presentan como promedios mensuales en los distintos puntos de muestreo.

DQO (ppm)

Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	1740.1	931.5	490.5	208.85	176.66	113.35
Septiembre	1525.2	1004.13	457.4	347.2	283.87	228.3
Octubre	1583.8	931.6	606.1	355.7	237	258.2
Noviembre	1471	600.9	403.1	207.3	171.6	157.9

Tabla 9. Promedios mensuales del monitoreo de la DQO

Los valores presentados en la tabla se graficaron para observar como a medida que el agua avanza por las lagunas la demanda bioquímica de oxígeno disminuye.



Grafica 8. DQO

Como se mencionó anteriormente, cuando las lagunas se encuentran funcionando de manera adecuada la cantidad de materia orgánica disuelta debe disminuir conforme avanza el tratamiento biológico y así mismo la DQO debe ser cada vez menor.

3.9 Nitritos

Para mantener una población adecuada de bacterias que son las encargadas de degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales, además de necesitar oxígeno, es necesario la presencia de algunos nutrientes. Entre los nutrientes más importantes encontramos el fósforo y el nitrógeno.

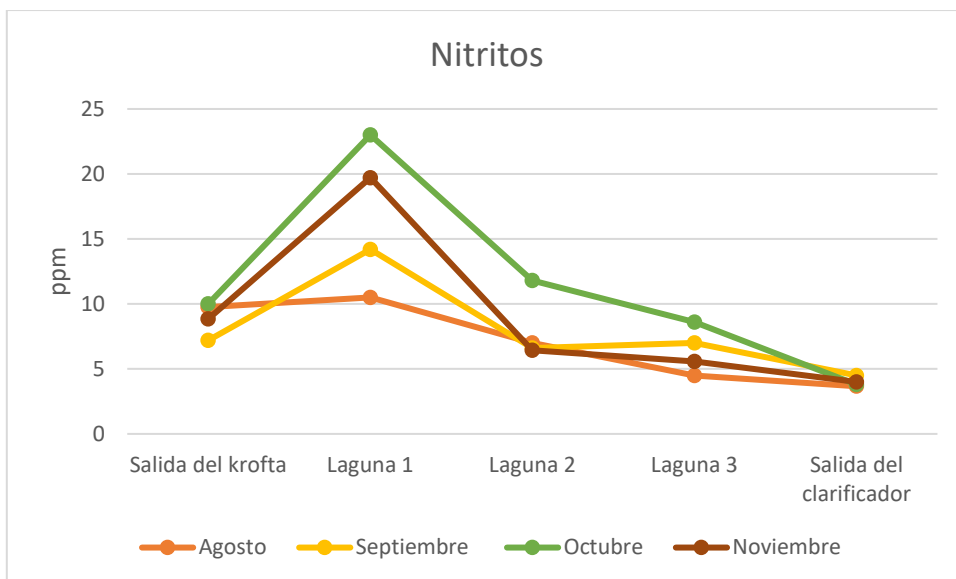
El nitrógeno entra a las lagunas en forma orgánica y amoniacal, sin embargo, las bacterias no son capaces de asimilarlo, por lo que es necesario reducirlo a compuestos más simples. Este proceso es meramente aerobio, es decir en presencia de oxígeno, el nitrógeno amoniacal se oxida hasta nitritos y después nitratos, por lo que la concentración de NO_2 siempre se mantendrá baja en relación con los NO_3 .

En la siguiente tabla se muestran los valores generados del monitoreo a lo largo de estos meses.

Nitritos(ppm)					
Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador
Agosto	9.75	10.5	7	4.5	3.67
Septiembre	7.2	14.2	6.6	7	4.5
Octubre	10	23	11.8	8.6	3.8
Noviembre	8.86	19.71	6.43	5.57	4

Tabla 10. Promedios mensuales del monitoreo de nitritos.

Una mejor manera de analizar los datos generados es con la elaboración de una gráfica, misma que se presenta a continuación.



Grafica 9. Nitritos

La teoría nos dice que la oxidación del nitrógeno se lleva a cabo en un ambiente aerobio, esto se observa en los datos generados y aunque no exista demasiada similitud en los promedios mensuales para cada punto de muestreo, los valores nos indican mayor presencia de nitritos en las lagunas de aireación (laguna 1 y 2).

A medida que la cantidad de oxígeno disuelto disminuye en las lagunas, también lo hace la presencia de este nutriente esencial para el desarrollo tanto de bacterias como de algas.

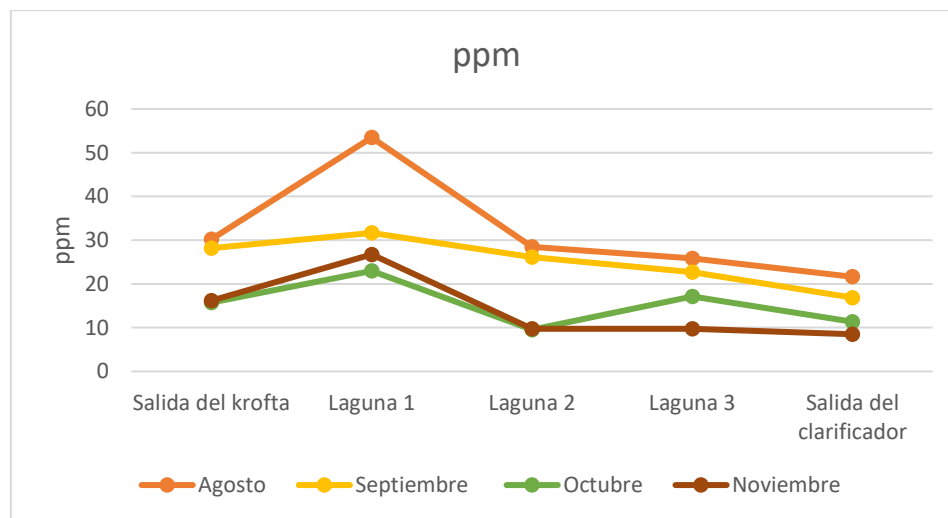
3.10 Nitratos

Además de los nitritos, en el desarrollo de este proyecto se monitoreo la presencia de nitratos en el tratamiento secundario de la PTAR Pronal, la oxidación del nitrógeno amoniacal en compuestos más simples se lleva a cabo en presencia de oxígeno en un proceso llamada nitrificación. Los nitratos son el producto secundario de dicho proceso y se encuentran en mayor cantidad con respecto a los nitritos. Ambos nutrientes resultan ser indispensables para el desarrollo de vida microscópica (algas y bacterias), que contribuyen a la mejora en la calidad del agua.

Nitratos(ppm)					
Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador
Agosto	30.225	53.475	28.45	25.85	21.63
Septiembre	28.2	31.66	26.1	22.69	16.88
Octubre	15.78	22.98	9.55	17.1	11.39
Noviembre	16.2	23.1	9.75	9.72	8.55

Tabla 10. Promedios mensuales del monitoreo de nitratos.

Los valores de la tabla anterior se ven plasmados en la siguiente gráfica, en donde podemos observar de manera detallada el comportamiento de este parámetro a lo largo del tratamiento secundario y parte del tratamiento terciario.



Grafica 10. Nitratos

La presencia de nutrientes en el proceso secundario garantiza que las bacterias y algas tengan las condiciones necesarias para poder multiplicarse de manera adecuada. Sin embargo, un exceso de estos nutrientes principalmente en la laguna facultativa (laguna 3), como se observa en los meses de octubre y noviembre trae como consecuencia un crecimiento descontrolado de las algas, provocando la disminución en la cantidad de oxígeno disuelto y por lo tanto una mala calidad del agua.

3.11 Fosforo

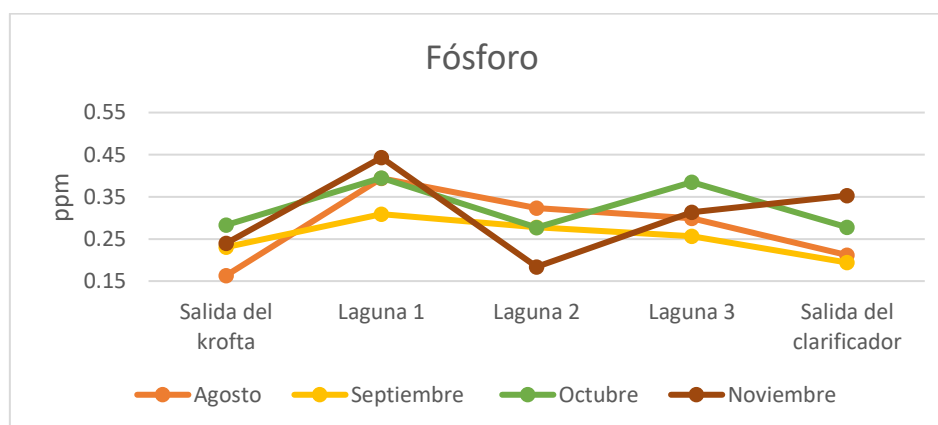
En el tratamiento de aguas residuales, ya sean de origen industrial o residuales domésticas, el nutriente limitante en muchas ocasiones es el fosforo. La presencia de fosforo en el tratamiento biológico garantiza de alguna manera que las bacterias serán capaces de multiplicarse y tener una población sana, lo que significa una degradación adecuada de materia orgánica.

Debido a que los valores de este nutriente en la planta de tratamientos de aguas residuales industriales generadas por la fabricación de papel se mantienen por debajo de lo establecido, es necesario agregar en las lagunas de aireación 1 y 2, ácido fosfórico, con la finalidad de activar la actividad microbiológica en proceso secundario. Los valores del monitoreo de este parámetro se encuentran en la siguiente tabla.

Fosforo (ppm)					
Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador
Agosto	0.16	0.39	0.323	0.3	0.212
Septiembre	0.231	0.309	0.278	0.256	0.194
Octubre	0.28	0.4	0.28	0.39	0.28
Noviembre	0.24	0.44	0.18	0.31	0.35

Tabla 11. Promedios mensuales del monitoreo de fosforo.

Los promedios mensuales en cada uno de los puntos de muestreo se utilizaron para graficar la presencia de fosforo en el tratamiento biológico.



Grafica 11. Fósforo

3.12 Oxígeno disuelto (ppm)

Existen diferentes factores que afectan la calidad del agua, como lo son:

- Presencia de nutrientes
- Sustancias tóxicas
- Potencial de hidrógeno
- Temperatura
- Oxígeno disuelto

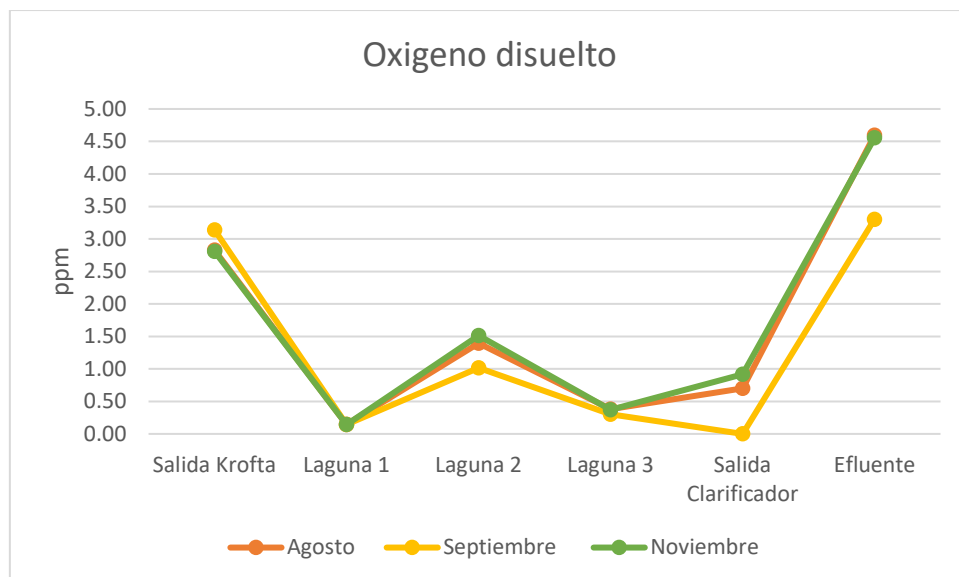
En las lagunas aireadas mecánicamente el oxígeno es proporcionado por inducción a través de los aireadores mecánicos superficiales, y en las lagunas facultativas naturales es proporcionado por las algas. Puesto que el oxígeno oxida la materia orgánica, disminuirá en proporción a la cantidad de materia orgánica presente; este proceso se conoce como demanda de oxígeno del desecho, es decir, del agua residual.

La cantidad de oxígeno disuelto en las lagunas de aireación depende del funcionamiento de los equipos mecánicos superficiales, este parámetro en el tratamiento de las aguas residuales es tan importante que cuando se presentan fallas mecánicas en algún equipo y es necesario dejarlo fuera de servicio, parámetros como color, turbidez y SST se incrementan en un tiempo menor de 24 horas. En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos del monitoreo de este parámetro.

Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Salida Clarificador	Efluente
Agosto	2.83	0.145	1.394	0.379	0.7	4.6
Septiembre	3.137	0.1468	1.017	0.304	0	3.303
Octubre	No se midió OD					
Noviembre	2.81	0.143	1.51	0.369	0.919	4.55

Tabla 12. Promedios mensuales del monitoreo de Oxígeno disuelto

De la misma manera se procedió a graficar los valores del monitoreo.



Grafica 13. Oxígeno disuelto

Analizando el comportamiento del oxígeno disuelto, surge la interrogante ¿Por qué la laguna facultativa a pesar de no tener ningún equipo de aireación tiene valores más altos de OD que la laguna de aireación 1? Si ambas tienen prácticamente el mismo volumen y tratan el mismo tipo de agua en que radica dicho fenómeno.

Las posibles causas podrían ser alguna de las siguientes:

1. Los equipos de aireación no poseen el arreglo adecuado para cubrir el total de la laguna, formando zonas muertas que provocan el estancamiento del agua, malos olores y presencia de lodos flotantes, como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen 1. Salida de la laguna 1

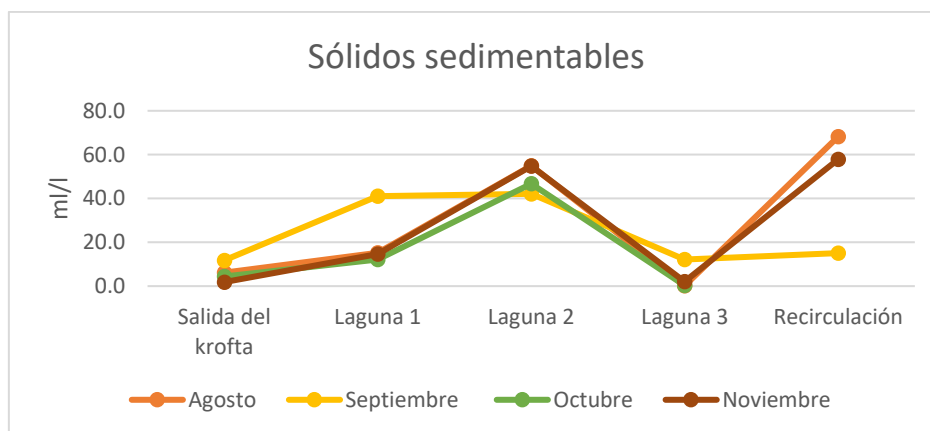
2. La carga orgánica que ingresa a la laguna 1, supera la cantidad de oxígeno que es necesario para su degradación.
3. Profundidad, mientras la laguna 1 posee una profundidad útil de aproximadamente 6 m lo que complica una mezcla y distribución homogénea del oxígeno, la laguna facultativa posee únicamente 1 m de profundidad lo que contribuye tener una mayor cantidad de oxígeno.
4. La poca profundidad de la laguna 3 contribuye a que las algas sean capaces de absorber de manera más sencilla la luz solar en un proceso conocido como fotosíntesis.
5. Los flujos transversales de viento provocan la reaeración entre la interfase aire-agua y esta depende de la velocidad del viento.

3.13 Sólidos sedimentables

Se le llama así al volumen de sólidos que son capaces de sedimentar, colocados en un cono de Imhoff en un tiempo de 1 hora.

Sólidos Sedimentables ($\frac{ml}{l}$)					
Mes	Salida Krofta	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Recirculación
Agosto	6.2	15.15	54.923	0.108	68.2
Septiembre	11.767	41	42.1	12.156	15
Octubre	4.3	12.1	46.7	0.3	0
Noviembre	1.83	14.67	54.85	2.02	57.83

Tabla 13. Promedios mensuales del monitoreo de SS.



Grafica 14. SS

VIII CONCLUSIONES

Se monitoreo la calidad del agua en la planta de tratamientos de aguas residuales de Productora Nacional de Papel S.A. DE C.V. donde se pudo observar que el parámetro que más influye en la calidad del agua es el oxígeno disuelto, esto se debe a que las bacterias encargadas de degradar la materia orgánica se desarrollan en ambientes aerobios, por lo que mantener una buena cantidad de oxígeno (2 ppm) en las lagunas de aireación favorece a tener agua de mejor calidad, además tener nutrientes disueltos como fósforo, nitritos y nitratos contribuyen a la reproducción adecuada de microorganismos y por lo tanto a la degradación de materia orgánica.

De acuerdo a los datos recabados se concluye que los valores de los parámetros medidos se encuentran dentro de las condiciones de operación que establece la planta.

Recomendaciones

Elaborar manual de operaciones detallando los límites máximos permisibles en los parámetros color, turbidez y SST en el tratamiento primario, con la finalidad de mejorar la calidad del agua que se envía a las lagunas para el tratamiento secundario. De igual manera el diseño y construcción de un diagrama de flujo detallando entradas y salidas de los equipos DAF, así como tuberías y válvulas que se encuentren en funcionamiento.

Revisar el arreglo de los equipos de aireación en la laguna 1 y 2, con la finalidad de evitar zonas muertas y aprovechar al máximo la potencia de cada equipo.

Se propone utilizar los filtros de grava y arena cuando el agua de la salida del clarificador supere los límites descritos en el manual de operación.

De igual manera se propone levantar por lo menos 15 cm el canal que recolecta las natas del clarificador, ya que actualmente se encuentra bajo el nivel del agua y de esta manera resulta poco útil.

XI REFERENCIAS

- Biblioteca. (24 de 11 de 2013). *udep.edu*. Obtenido de udeo.edu:
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf
- contributors, W. (13 de 11 de 2018). *Ingeniería de aguas residuales/Tratamiento físico-químico*. Obtenido de Wikilibros:
https://es.wikibooks.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales%2FTratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico&id=359838
- DIPUTADOS, C. D. (27 de 08 de 2018). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS*. Obtenido de CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_270818.pdf
- economia, S. d. (23 de 8 de 2001). *NMX-AA-045-SCFI-2001*. Obtenido de NMX-AA-045-SCFI-2001 :
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166781/NMX-AA-045-SCFI-2001.pdf>
- HACH. (9 de 2005). Obtenido de Manual DR2800: <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=17989943916>
- HACH. (10 de 2017). Obtenido de Medidor portatil HQd: <https://es.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593608939>
- HACH. (18 de 11 de 2018). *Equipos y controles industriales*. Obtenido de eci:
<http://www.eci.co/es/representados/hach>
- LÓPEZ, M. E. (13 de 09 de 2018). *Aguas residuales composicion*. Obtenido de Aguas residuales composicion :
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Nexos. (3 de 6 de 2010). *El juego de la Suprema Corte*. Obtenido de El juego de la Suprema Corte: <https://eljuegodelacorte.nexos.com.mx/?p=324>

- oocities. (23 de 4 de 2014). *Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales: <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/microbiologia1.pdf>
- Pronal. (2018). *Manual de Operaciones PTAR Pronal*. San Luis Potosi: Ninguna.
- Residuales, A. (15 de septiembre de 2015). *Cómo funcionan los Equipos DAF para depuradoras*. Obtenido de Aguas Residuales: <http://aguasindustriales.es/como-funcionan-los-equipos-daf-para-depuradoras/>
- SMA. (12 de 01 de 2016). *Qué es el proceso de lodos activados*. Obtenido de <http://www.smasa.net/proceso-lodos-activados/>
- Wikipedia, C. d. (2 de 12 de 2015). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre.: https://es.wikipedia.org/wiki/Total_de_s%C3%B3lidos_en_suspensi%C3%B3n
- Wikipedia, c. d. (30 de 10 de 2018). *Floculación*. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Floculaci%C3%B3n&oldid=111646144>
- Yolanda, A. C. (23 de 4 de 2000). *Tratamiento de agua, coagulación y floculación*. Obtenido de SEDAPAL: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154