

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man on a white horse, holding a staff, set against a blue background. Above the figure is a golden crown with a cross on top. To the left and right are golden castles. Below the figure are two green hills. The entire scene is enclosed in a circular border with the Latin motto "CETERAS OMNIBUS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" written in white capital letters.

"Evaluación de la eficiencia del tratamiento del agua residual en el Centro de Atención de Niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, ubicada en Ciudad Nueva, zona 2 de la Ciudad de Guatemala"

**Marisol Samayoa Monzón
Mildred Desire Dubois Navas**

Químicas Biólogas

Guatemala, Noviembre 2018

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



"Evaluación de la eficiencia del tratamiento del agua residual en el Centro de Atención de Niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, ubicada en Ciudad Nueva, zona 2 de la Ciudad de Guatemala"

Seminario de Investigación

Presentado por

**Marisol Samayoa Monzón
Mildred Desire Dubois Navas**

**Para optar al título de
Químicas Biólogas**

Guatemala, Noviembre 2018

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado	Vocal III
Br. Byron Enrique Pérez Díaz	Vocal IV
Br. Pamela Carolina Ortega Jiménez	Vocal V

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de San Carlos de Guatemala y la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia**, por habernos permitido formarnos como profesionales brindándonos los conocimientos necesarios para desempeño de nuestras labores diarias como profesionales íntegros al servicio de la comunidad.

Al **Laboratorio unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina** y a la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (**EMPAGUA**), por confiar en nuestro conocimiento para la elaboración del proyecto así como el financiamiento y préstamo de las instalaciones para realizar la investigación.

A nuestra **Asesora Dra. Karin Herrera** por el aporte de su conocimiento, tiempo y dedicación durante la elaboración de la investigación.

A nuestro **Revisor Lic. Sergio Lickes** por su tiempo, conocimiento y guía durante el transcurso de la investigación.

A **nuestra familia** por el apoyo y cariño incondicional que siempre nos han brindaron en el trayecto de nuestra vida.

A **nuestros amigos** por compartir tantas vivencias inolvidables, por siempre apoyarnos y recorrer juntos este camino.

A **nuestro amigo Rafael Loarca** por ser parte de la investigación apoyándonos en el proceso.

A todos aquellos que participaron directa e indirectamente en la realización de nuestro seminario.

Marisol y Mildred

DEDICATORIA

A DIOS

Por haber guiado mis pasos y darme la fortaleza que necesitaba para alcanzar la meta que siempre soñé. Por su infinito amor y bendiciones.

A MIS PADRES

Isabel Monzón y Pablo Samayoa por ser mi guía y apoyo en todo momento, inculcando con su ejemplo los valores que ahora me forman como persona.

A MIS HERMANOS

Juan José Samayoa e Isabel Samayoa por su cariño y apoyo en todo momento.

A MIS TÍOS

Alicia Monzón por su apoyo incondicional y su ejemplo como profesional y a Manuel Monzón por siempre brindarme sus consejos.

A MIS PRIMOS

Astrid Rodríguez, Andrés Monzón y Gabriel Monzón por su cariño, apoyo y compañía en todo momento.

A MI ABUELITA

Linda Sevilla por siempre confiar en mí y por su cariño incondicional.

A MI AMIGA

Mindy Crespo y la Familia Fajardo por su cariño y apoyo incondicional.

Marisol Samayoa

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme su infinito amor y bondad al ser mi guía, mi fuente de sabiduría, por darme la fortaleza para seguir adelante, por no dejarme sola en ningún momento y permitirme llegar hasta esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A MIS PADRES

Nery Dubois y Sulma Navas, por sus sabios consejos, cariño y apoyo incondicional, gracias a ambos por animarme a ser mejor cada día.

A MIS HERMANOS

Por ser parte de mi vida, a Kelly por su cariño y apoyo en todo momento.

A MIS TÍOS y PRIMOS

A cada uno, sin excepción, por sus consejos y apoyo.

A MIS ABUELITAS

Por siempre confiar en mí, por su amor incondicional, apoyando siempre mis sueños.

A MIS AMIGOS

Por compartir experiencias y conocimientos a lo largo de nuestra vida juntos, por siempre creer en mí y darme todo su cariño y apoyo.

Mildred Dubois

ÍNDICE

	Página
1. SEMINARIO	
1.1 Ámbito de Investigación del Proyecto Macro	1
1.2.1 El seminario se desarrolla en tres fases	1
1.2.1.1 Primera fase	1
1.2.1.2 Segunda fase	2
1.2.1.3 Tercera Fase	2
2. RESUMEN	4
3. ANTECEDENTES	
3.1 Generalidades	6
3.1.1 Características de aguas residuales	7
3.1.1.1 Constituyentes de las aguas residuales	7
3.1.1.2 Contaminantes de importancia en el tratamiento de agua residual	7
3.1.1.3 Métodos analíticos	8
3.1.1.4 Características físicas	8
3.2 Tipos de agua residual	8
3.2.1 Aguas residuales de tipo especial	8
3.2.2 Aguas residuales de tipo ordinario	8
3.3 Tratamiento de Aguas residuales	9
3.4 Beneficios del uso de aguas residuales	10
3.5 Acuerdo Gobernativo No. 236-2006 Reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos	10
3.6 Parámetros de aguas residuales	11
3.6.1 Parámetros de calidad	11
3.6.1.1 Parámetros de calidad ambientas	11
3.6.1.2 Parámetro de calidad sanitaria	11

3.6.1.3	Parámetro de calidad agronómica	12
3.6.2	Parámetros de medición	12
3.6.2.1	Temperatura	12
3.6.2.2	Densidad	13
3.6.2.3	Potencial de hidrógeno	13
3.6.2.4	Grasas y aceites	13
3.6.2.5	Material flotante	14
3.6.2.6	Sólidos suspendidos totales	14
3.6.2.7	Demanda Bioquímica de oxígeno	15
3.6.2.8	Demanda Química de oxígeno	15
3.6.2.9	Nitrógeno Total	16
3.6.2.10	Fósforo Total	16
3.6.2.11	Color	17
3.6.2.12	Olor	17
3.6.2.13	Turbiedad	18
3.6.2.14	Coliformes fecales	18
3.7	Planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR)	19
3.7.1	Partes de la planta de tratamiento de aguas residuales	19
3.7.1.1	Caja de Entrada-Registro	19
3.7.1.2	Tanques de desarenador-sedimentador	19
3.7.1.3	Reactor Anaeróbico	19
3.7.1.4	Sistema de sedimentación secundaria	20
3.7.1.5	Sistema de control de salida	20
4	JUSTIFICACIÓN	21
5	OBJETIVOS	22
5.1	Generales	22
5.2	Específicos	22
6	HIPÓTESIS	23
7	MATERIALES Y MÉTODOS	24
7.1	Universo	24

7.2 Población de Trabajo	24
7.3 Muestra	24
7.4 Recursos	25
7.5 Materiales	25
7.5.1 Equipo	25
7.5.2 Materiales y Cristalería	26
7.5.3 Medios	26
7.5.4 Reactivos	27
7.6 Metodología	27
7.7 Diseño de investigación	28
8 AVAL DE INSTANCIA OFERENTE PARA LA PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN, LOS CUALES PUEDEN SER RESULTADOS PARCIALES DEL PROYECTO MACRO DE LA INSTANCIA.	30
9 RESULTADOS	30
10 DISCUSION DE RESULTADOS	42
11 CONCLUSIONES	47
12 RECOMENDACIONES	48
13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
14 ANEXOS	53

1. ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Ámbito de Investigación del Proyecto Macro:

El trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, la evaluación de la eficiencia del tratamiento del agua residual por medio del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua tratada. Estableciendo si esta puede ser descargada a depósitos de aguas naturales cercanas sin causar un impacto ambiental desfavorable, así como poder ser reutilizada en actividades de riego y limpieza dentro de las instalaciones del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, sin causar daños a la población en general.

Por medio del análisis de los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo Número 236-2006 que incluye la evaluación material flotante, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitratos, fosfatos, coliformes fecales, siendo estos los principales parámetros para determinar la calidad ambiental y sanitaria del agua residual, permitiendo establecer si el agua obtenida de la planta de tratamiento es apropiada para ser reutilizada.

El presente trabajo pretende validar un nuevo sistema de tratamiento de agua, por medio del análisis de la eficiencia de este sistema, para ser implementado posteriormente en otras instalaciones, por lo cual no pertenece a un estudio macro, ya que únicamente se puede centrar en forma general y no se puede dividir en pequeños estudios micro.

1.2.1 El Seminario se desarrolló en tres fases:

1.2.1.1 Primera Fase:

- Elaboración del plano de la planta de tratamiento (Anexo 01).
- Gestión de permisos necesarios para el ingreso al Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.
- Gestión de permisos para el uso de instalaciones del laboratorio de EMPAGUA.

- Tomar muestra control de los cinco puntos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (Punto1 entrada a PTAR, Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III, Punto 5 Salida de PTAR).
- Realizar pruebas fisicoquímico (pH; color; sólidos sedimentables; sólidos suspendidos; DQO; DBO, turbidez, nitratos y fosfatos) y microbiológicas (Coliformes fecales) a las muestras de agua.
- Determinar puntos críticos.
- Realizar plan de muestreo.

1.2.1.2 Segunda Fase:

Realizar muestreo de los tres sistemas de la planta de tratamiento de aguas residuales (Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III) en diferentes periodos, tomados en forma aleatoria.

- Realizar pruebas fisicoquímicas (pH; color; sólidos sedimentables; sólidos suspendidos; DQO; DBO, turbidez, nitratos y fosfatos).
- Realizar pruebas microbiológicas (Coliformes fecales).
- Recolección de datos.
- Análisis de datos.
- Entrega de informe preliminar de funcionamiento de la planta a las autoridades de EMPAGUA.
- Realizar un muestreo control al finalizar el estudio de los cinco puntos de la planta de tratamiento (Punto1 entrada a PTAR, Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III, Punto 5 Salida de PTAR).

1.2.1.3 Tercera Fase:

- Recaudación de los datos obtenidos durante las dos fases anteriores.
- Tabulación de los resultados.
- Interpretación de resultados.

- Entrega de informe final de la eficiencia de la planta de tratamiento a las autoridades de EMPAGUA.
- Entrega del informe final del proyecto.

El proyecto de investigación es apoyado y financiado por:

- Laboratorio unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Bonilla.
- Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA).

2. RESUMEN

Las aguas residuales son originadas a partir de diferentes procesos industriales o producidas por el uso doméstico. Para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de forma que su descargada en redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales (ríos, lagos, embalses, etc.) no causen ninguna contaminación al medio ambiente o a la población en general.

La investigación evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual determinando la calidad del agua según parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por el Acuerdo Gubernativo Número 236-2006 siendo evaluados materia flotante, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, nitratos, fosfatos, coliformes fecales. Esto con el fin de determinar si la descarga de dicha agua pueda causar un daño desfavorable en aguas naturales cercanas, así como establecer si es apta para el uso de riego y limpieza en las instalaciones del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, sin causar daños a la población en general.

Se efectuaron 21 muestreos, en diferentes épocas del año tomando en cuenta periodo de estudio y vacaciones en el centro, obteniendo un total de 30 muestras para análisis fisicoquímico (pH, color, sólidos sedimentables, DQO, DBO, nitratos y fosfatos) y 42 muestras bacteriológicas (coliformes totales, coliformes fecales y *E.coli*).

El sistema de tratamiento de agua cuenta con tres plantas siendo evaluada cada una por separado y a la vez se evaluó el sistema completo al inicio y al final del estudio tomando en cuenta el funcionamiento de las tres plantas de forma unificada como un solo sistema.

Debido a que el caudal no permitió un abastecimiento uniforme para las tres plantas, no fueron tomados en cuenta los resultados obtenidos en la planta de tratamiento 2 al no presentar una carga constante para un análisis continuo. En las tablas No. 01, 02, 03 y 04 se muestran los parámetros fisicoquímicos analizados (pH, color, sólidos sedimentable, DQO, DBO, nitratos y fosfatos) los cuales

cumplen con los parámetros establecidos por el acuerdo gubernativo 236-2006 reglamento de descarga y uso de aguas residuales y de la disposición de lodos donde se establece que se debe presentar una disminución periódica de los valores al madurar la planta. El rango de pH es importante para determinar la calidad de aguas residuales, reportado durante el análisis se encuentra dentro del rango de 5.61 y 8.19, los cuales son parámetros reportados para el agua residual urbana (pH de 6-9 ver anexo No. 04) por lo que este no afecta significativamente el pH del ecosistema receptor.

En los resultados microbiológicos analizados (Coliformes fecales y *E.coli*) se observa una disminución de la carga microbiana durante el periodo de estudio por lo cual se espera que una vez la planta madure los resultados microbiológicos presentaran un valor bajo en recuento representando un riesgo mínimo de contaminación al momento de ser incorporada la descarga a otro efluente.

En conclusión el sistema de tratamiento presentó una eficiencia del 35% para color, 24% para el DQO y del 8% para nitratos, en el caso del pH, DBO y fosfatos no se obtuvo un aumento en el porcentaje del rendimiento comparado con los resultados iniciales. Debido que ninguno de los parámetros fisicoquímicos sobrepasó el 80% de eficiencia se concluye que la planta es ineficiente.

Los valores obtenidos del análisis bacteriológico para el agua residual posterior a su tratamiento se presentaron dentro de un rango de 1.8 a 47 NMP/100 mL y 1.8 a 24 NMP / 100mL para coliformes totales y *E. coli* respectivamente en los últimos muestreos realizados.

Se recomienda el monitoreo constante de la planta hasta establecer su estabilidad por maduración, siendo necesario evaluar la distribución equitativa del efluente receptor, para asegurar el funcionamiento de las tres plantas de forma simultánea para evitar el sobrecargar una planta más que la otra y así asegurar su buen funcionamiento.

3. ANTECEDENTES

3.1 Generalidades

El agua es considerado un recurso vital el cual con el pasar del tiempo se ha visto afectado por los cambios climáticos (fluctuaciones en las lluvias, aumento del calentamiento global), alteraciones en el medio ambiente (degradación de la permeabilidad del suelo, deforestación), crecimiento demográfico (uso masivo del recurso por la población), la urbanización y la industrialización (contaminación de agua dulce), por lo que en los últimos años se ha presentado un especial interés sobre los diferentes procesos que permitan la conservación de este recurso y evitar su pérdida total con el tiempo (UNESCO, 2003).

La UNESCO hace referencia en diferentes publicaciones que los ecosistemas acuáticos se han visto dañados de forma permanente debido al aumento de la población, desarrollo de infraestructuras, mal uso y modificación de los suelos, sobreexplotación agrícola, cambio y contaminación del ecosistema. Realizando diferentes estudios donde establecen que en promedio cada día, dos millones de toneladas de desechos son descartadas en los canales, contaminando las fuentes principales de agua causando una pérdida del 50% de los humedales del mundo, recomendando y apoyando diferentes programas que permitan la recuperación y conservación de este recurso fundamental para la vida (González M., Chiroles S., 2010).

Las aguas residuales son originadas a partir de diferentes procesos industriales o producidas por el uso doméstico. Para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de forma que su descargada en redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales (ríos, lagos, embalses, etc.) no causen ninguna contaminación al medio ambiente o a la población en general. Las impurezas presentes en el agua se clasifican en materia en suspensión, materia coloidal o materia en solución. El procedimiento de eliminación dependerá de que tipo de materia esté presente en el agua a tratar.

La materia en suspensión se separa por medio mecánico el cual puede ser por medio de gravedad, la materia coloidal requiere de un tratamiento fisicoquímico preliminar y la materia en solución puede tratarse en estado iónico, molecular o precipitarse. Al conjunto de estos procedimientos se les denomina tratamiento de aguas (Delgadillo, 2010).

Cuando se aplican procesos biológicos se hace referencia exclusiva al tratamiento de aguas residuales, cuyo objetivo principal es eliminar componentes contaminantes que pueden presentar un efecto nocivo para el medio ambiente.

El tratamiento de aguas residuales dependerá de una serie de factores tales como: el caudal, la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, la posibilidad de reutilización del agua, posibilidad de vertido a depuradoras municipales, tasas de vertido, etc. (Cámara M., 2014).

3.1.1 Características de aguas residuales

3.1.1.1 Constituyentes de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición química, física y biológica.

- Física: color, olor, sólidos y temperatura
- Química: constituyentes orgánicos, constituyentes inorgánicos, gases.
- Biológicos: Animales, plantas, protistas y virus (Anexo 02).

3.1.1.2 Contaminantes de Importancia en el tratamiento de agua residual

Entre los contaminantes de interés en el tratamiento de agua residual tenemos: Sólidos en suspensión, materia inorgánica (arcilla, sedimento y otros residuos), materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, contaminantes prioritarios, materia orgánica refractaria, metales pesados, sólidos inorgánicos disueltos (Anexo 03).

3.1.1.3 Métodos analíticos

Para la caracterización del agua se utilizan métodos cuantitativos y cualitativos. Los métodos cuantitativos son utilizados para la determinación precisa de la composición química del agua residual, estos pueden ser gravimétricos, volumétricos o fisicoquímicos. Los métodos cualitativos ofrecen información sobre las características físicas y biológicas, permitiendo determinar parámetros no relacionados con las propiedades másicas o volumétricas del agua (Da Cámara M., 2014).

3.1.1.4 Características físicas

Entre las principales características físicas que se pueden ver alteradas y brindan información en general sobre las condiciones en que se encuentra el agua tenemos: olor, temperatura, densidad, color, turbidez y contenido total de sólidos (materia en suspensión, coloidal y disuelta) (Quiñonez J. 2009).

3.2 Tipos de agua residual

Las aguas residuales según su origen se clasifican en:

3.2.1 Aguas residuales de tipo especial

Aguas de composición variada, provenientes de usos municipales, industriales, comercial, agrícola, pecuario que haya sufrido degradación en su calidad original. Es decir agua contaminada como efecto de su utilización en diferentes procesos tanto económicos como de usos diario (Sánchez, A., 2011).

3.2.2 Aguas residuales de tipo ordinario

Las aguas residuales generadas de tipo doméstica, tales como uso de servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras actividades similares que se conduzcan a través del alcantarillado. Los aportes que generan esta agua son:

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas de limpieza de calles
- Aguas de lluvia y lixiviados (Palomo, G., 2011).

3.3 Tratamiento de las aguas residuales

El agua residual se puede tratar mediante procesos biológicos aerobios o anaerobios, ambos casos se fundamentan en los ciclos naturales donde los microorganismos producen materia orgánica para generar a su vez materia celular nueva o gas, permitiendo utilizar estos procesos para remover sólidos coloides que no pueden sedimentarse (Sánchez M., Peón I., Juárez T., 2016).

El tratamiento primario consiste en la eliminación de todos los sólidos que flotan y los que son sedimentables. Se hace pasar el agua por una pantalla que filtra los sólidos y desperdicios de gran tamaño, luego se pasa a tanques de sedimentación en donde los sólidos que se encuentran en suspensión son eliminados. Este tratamiento separa aproximadamente un 60% de los sólidos suspendidos.

El tratamiento secundario, en esta etapa el contenido de materiales orgánicos de las aguas es eliminado por acción bacteriana, como la utilización de filtros especiales o por el proceso de lodos activados. Este tratamiento no elimina algunas sustancias como sales de fósforo y nitrógeno, mismas que ayudan al crecimiento de algas, además de metales pesados y otros productos químicos.

Tratamiento terciario, también es conocido como etapa biológica, que incluye la remoción de nutrientes (fosfatos y nitrógeno) y un alto porcentaje de los sólidos suspendidos (Sánchez, A., 2011).

3.4 Beneficios del uso de aguas residuales

El agua residual si es tratada adecuadamente en una planta de tratamiento puede ser utilizada en la agricultura, acuicultura así como las actividades cotidianas como: riego de jardines; limpieza de pisos, baños e instalaciones, sin ocasionar un riesgo para la población (Borras C., Byron L., Fernández L., 2015).

En áreas donde existe escasez de abastecimiento de agua puede ser implementado un sistema de tratamiento para el aprovechado de este recurso, siendo un beneficio para la población como para el medio ambiente ya que el sistema de tratamiento permite una reducción de la contaminación causada por la descarga de aguas negras (González M., Chiroles S., 2010).

3.5 Acuerdo Gobernativo No. 236-2006 Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos

Este reglamento tiene como objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como la disposición de lodos. Esto para que se logre proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana, recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización y el promover el desarrollo del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2008).

Este reglamento debe de aplicarse a los generadores de aguas residuales; para las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público; que produzcan aguas residuales para reúso; que reúsen parcial o totalmente aguas residuales y las personas que son responsables del manejo, tratamiento y disposición final de los lodos (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2008).

3.6 Parámetros de aguas residuales

Los resultados de los análisis de agua residuales se expresan en unidades de medida tanto físicas como químicas, los cuales permiten asignar un valor numérico que permitirá conocer las características del agua residual. A estas variables se les conoce como parámetros de aguas residuales. Estos se clasifican en:

3.6.1 Parámetros de Calidad

Estos permiten identificar el uso que se le puede dar al agua tratada, entre los que tenemos:

3.6.1.1 Parámetro de calidad ambiental

Dentro de este parámetro se incluyen todos aquellos que impactan directamente sobre los ecosistemas. Los parámetros de calidad ambiental son: la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos de suspensión. Las plantas de tratamiento de agua residuales están diseñadas bajo criterio de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno lo cual indica una disminución de la cantidad de oxígeno en la reacción química de oxidación producida por los microorganismos para la degradación biológica de la materia orgánica presente en el agua residual, así como a reducción de sólidos en suspensión (Palomo G., 2011).

3.6.1.2 Parámetro de calidad sanitaria

Son aquellos relacionados con la cantidad de coliformes fecales (expresado en NMP/100mL) dentro del cual el principal representante de este grupo es *Escherichia coli*. Desde el punto de vista de salud pública la presencia de estos se relaciona directamente con enfermedades entéricas en el ser humano. La presencia de estas indica contaminación por heces humanas obtenidas por descarga de aguas residuales sin tratamientos en ríos o diferentes fuentes acuíferas. (Rivera R., Palacios O., Chávez J., 2007).

3.6.1.3 Parámetro de calidad agronómica

Estos parámetros están asociados a la presencia de nutrientes como el fósforo total y nitrógeno total presentes en las excretas humanas y en detergentes. La importancia de su eliminación o reducción antes de que sean descartadas las aguas tratadas a cuerpos receptores debido a que favorecen el desarrollo de microorganismos como cianobacterias las cuales limitan la disposición de luz solar a las capas inferiores restringiendo el crecimiento normal de los seres vivos en los ecosistemas principalmente los lacustres (Palomo G., 2011).

3.6.2 Parámetros de medición (Anexo 04)

Estos parámetros permiten conocer las características que presenta el agua residual a través de un valor numérico representativo. Los principales parámetros que se evalúan para conocer las características del agua residual son:

3.6.2.1 Temperatura

El agua residual presenta temperaturas más elevadas que la de agua de suministro. Las aguas residuales que presentan temperaturas elevadas corresponden a descargas industriales o comerciales. Este tipo de aguas producen deterioro de la red cloacal o podría causar aeraciones en el medio ambiente al momento de su descarga (Orellana J., 2005).

Las temperaturas registradas suelen ser mayores a las del aire durante la mayor parte del año, y son menores durante épocas calurosas, presentando lecturas entre 10 y 21°C. La temperatura es importante para el análisis del agua, dado que tiene influencia sobre las reacciones químicas, así como en el crecimiento bacteriano. La actividad óptima para el desarrollo bacteriano es de 25 a 35°C. Los procesos de nitrificación y digestión aeróbica se ven detenidas al alcanzar los 50°C. A temperaturas de 15°C, las bacterias que producen metano detienen su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas detienen su actividad en temperaturas cercanas a 5°C (Sánchez M., Peón I., Juárez T., 2016).

3.6.2.2 Densidad

La densidad del agua se define como masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m³. Esta representa una característica física importante en el análisis de agua residual, ya que de ella depende la formación de sedimentos, siendo afectada por los residuos presentes en el agua así como por la temperatura (Moya, D., Collay S., 2015).

3.6.2.3 Potencial de hidrógeno

Se basa en la capacidad de respuesta de electrodo de vidrio ante soluciones de diferentes actividades de iones H⁺. El pH es la medida de la concentración de este ion. La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio, esta puede variar dependiendo de la temperatura por lo que es un parámetro a tomar en cuenta. En un efluente domestico alcanza un valor aproximado de 7 a 8 (Orellana J., 2005).

Valores bajos indican la presencia de volcamientos ácidos y si son altos volcamientos alcalinos ambos proceden de procedimientos industriales o comerciales. Al presentar un pH ácido o básico indica que el agua residual puede causar daño a las cañerías, equipos de bombeo e impactar en los sitios de disposición final (Estela J., 2009).

El valor de pH es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descarga de agua residuales de alcantarillados y a cuerpos receptores, también es considerado como parámetro de calidad de agua para usos y actividad agrícola contacto primario y consumo humano (Estela J., 2009).

3.6.2.4 Grasas y aceites

Las grasas son compuestos de alcohol glicérico, comúnmente llamado glicerina, con los ácidos grasos tales como el oleico, palmítico y esteárico, dando origen a glicéricos como oleína, palmitina y estearina. Estos se encuentran en las grasas animales. Las grasas son de los compuestos orgánicos más estables, por lo que es difícil su eliminación por descomposición bacteriana (Orellana J., 2005).

3.6.2.5 Material flotante

Se considera material flotante cualquier sustancia sólida de una muestra de agua residual y residual tratada retenida en una malla de acero inoxidable. La determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas es de gran importancia para el control y tratamiento de las descargas (Estela J., 2009).

Es un método cualitativo y se basa en la observación de la materia flotante en una muestra de aguas residuales en el sitio de muestreo (Echarri L., 2008).

3.6.2.6 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos totales en suspensión son una medida en suspensión no sedimentable constituida por la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105° C. La materia que se pierde durante la evaporación debido a la presión del vapor no es considerada como sólida. Los sólidos sedimentables son aquellos que se depositan al fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) durante un periodo de 60 min, estos se expresan en mL/L. Los sólidos se pueden clasificar en filtrable o no filtrables (sólidos en suspensión). El proceso de filtrado se realiza por medio de la separación a través de un filtro de vidrio (Whatman GF/C) con poros de 1,2 μm aunque también se puede utilizar filtros de membrana de policarbonato (Oyarzo O., 2015).

La fracción filtrable corresponde a los sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de tamaño entre 0,001 y 1 μm , las cuales permiten detectar el grado de contaminación del agua residual, siendo también importante para el análisis de la eficiencia de una planta de tratamiento, ya que la disminución de estos porcentajes son indicativos de un tratamiento exitoso. Los sólidos disueltos están conformados por moléculas orgánicas, inorgánicas e iones en disolución en el agua. Para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementaria ya que estas no son eliminadas por la sedimentación (Opereza N., 2006).

3.6.2.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un periodo de cinco días y una temperatura de 20° Celsius. La oxidación es un proceso lento cuya duración en un periodo de 20 días se completa la oxigenación en un 95 a 99 por 100 de la materia carbonosa, en 5 días que dura el examen se llega a oxidar el 60 y 70 por 100. La temperatura de 20°C es representativa a la temperatura que se da en el agua en circulación baja y es fácilmente igualada en incubadora, siendo la temperatura un parámetro fundamental para el análisis, debido a que a diferentes temperaturas se obtendrán diferentes resultados ya que las reacciones bioquímicas son dependientes de la temperatura en las que sucede la acción. La DBO expresa el grado de contaminación de un agua residual por materia orgánica degradable por oxidación biológica (Palomo, G., 2011).

La DBO se emplea para: determinación de oxígeno que se requiere estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; dimensionar las instalaciones de la planta de tratamiento; medir la eficiencia de los procesos de tratamiento; controlar los cumplimientos establecidos. Al momento de realizar el análisis es necesario diluir la muestra con una solución especial, que permite la disposición necesaria de nutrientes y oxígeno durante el periodo de incubación (Palomo, G., 2011).

3.6.2.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química, por medio de un agente químico fuertemente oxidante (dicromato potásico) en medio ácido. Este procedimiento debe realizarse a altas temperaturas, para facilitar la oxidación de determinados compuestos orgánicos, utilizando un catalizador (sulfato de plata) para proporcionar las condiciones necesarias (Palomo, G., 2011).

La demanda química de oxígeno indica la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, la medida corresponde a una estimación de las materias oxidables de origen orgánico o inorgánico. La DQO del agua residual suele ser mayor a la DBO, esto se debe al mayor número de compuestos que son oxidados por vía química, siendo este determinado en un tiempo más corto (3 horas) en relación al tiempo de la DBO (5 días). Ambos parámetros pueden ser correlacionados para el funcionamiento y control de un sistema de tratamiento (Palomo, G., 2011).

3.6.2.9 Nitrógeno total

Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Además las fuentes de nitrógeno incluyen la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamientos de agua potable. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos es importante su determinación (Estela J., 2009).

La determinación de nitrógeno se basa en una combustión inmediata de la muestra, que da como resultado la liberación de todo el nitrógeno contenido en forma de nitrógeno gaseoso. El nitrógeno gaseoso se separa de otros compuestos gaseosos por cromatografía de gases, para su posterior cuantificación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009).

3.6.2.10 Fósforo total

El fósforo puede encontrarse en las aguas residuales disuelto o en partículas como compuestos orgánicos o inorgánicos, su exceso en el agua provoca eutrofización. Para liberar el fósforo combinado en materia orgánica, se debe someter la muestra de agua a un proceso de digestión ácida. Posterior a la digestión el fósforo se encuentra en forma de ortofosfatos, los cuales son determinados a través de métodos colorimétricos (Echarri L., 2008).

3.6.2.11 Color

La coloración del agua puede clasificarse en verdadera o real cuando se debe sólo a las sustancias que tienen en solución, y aparente cuando su color es debido a sustancias que tienen en suspensión (Echarri L., 2008).

El color es un parámetro importante de medición ya que indica la edad del agua residual. Los efluentes domiciliarios presentan un color gris cuando es fresco y al envejecer se torna de color negro brillante, al desarrollarse condiciones más cercanas a la anaerobiosis. El color gris, gris oscuro y negro se debe a la formación de sulfuro metálico por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaeróbicas con los metales presentes en el agua residual. Cualquier alteración en el olor indica la presencia de residuos industriales, el color permite determinar el tipo de residuo presente en el efluente (Orellana J., 2005).

3.6.2.12 Olor

Las aguas residuales contienen una amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos que juegan un papel importante en la producción del olor característico que presenta el agua residual a causa de la liberación de gases durante los procesos de descomposición de la materia orgánica. Este se debe principalmente a la presencia de sulfuro de hidrogeno, el cual se produce por la reducción de sulfatos a sulfitos por actividad microbiana bajo condiciones anaeróbicas (Pedreño A., Viguera A., Castillo L., 2015).

El olor en agua residual puede generar pérdida de apetito, desequilibrio respiratorio, náuseas y vómitos. Por lo que las plantas de tratamiento se deben ubicar lejos de poblaciones. La medición del olor se realiza principalmente por métodos sensoriales, aunque pueden ser medidos por métodos instrumentales, a través de la determinación de concentraciones de sulfuro de hidrogeno (Pedreño A., Viguera A., Castillo L., 2015).

3.6.2.13 Turbiedad

La turbiedad es la capacidad del agua de transmitir la luz. Este parámetro es empleado para determinar la calidad del agua en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición se lleva a cabo por medio de la comparación de la intensidad de luz dispersada de la muestra y la intensidad de luz dispersada por una muestra de referencia ambas presentes en las mismas condiciones. Al presentar materia coloidal esta no permite que la luz sea absorbida por lo que impide su transmisión (Echarri L., 2008).

3.6.2.14 Coliformes Totales

El papel que desempeñan las bacterias en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, es de gran importancia para el análisis microbiológico del agua, principalmente las pertenecientes al grupo de coliformes totales.

Los coliformes totales pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, son bacilos Gram negativo, anaeróbicos facultativos, no esporulados, fermentadores de lactosa a 37°C con producción de gas de 24 a 48 horas de incubación. Estos se encuentran en gran cantidad en el ambiente (fuentes de agua, vegetación y suelos), no son estrictamente asociados a contaminación fecal y su presencia no necesariamente indica un riesgo evidente para la salud. Son utilizados como indicadores de degradación de los cuerpos de agua, alertando que existe una contaminación sin identificar su origen (Robert. M., 2013).

Dentro de los coliformes totales, se encuentran los coliformes fecales los cuales están presentes en animales de sangre caliente y humanos. Estos presentan la capacidad de fermentar la lactosa, con producción de gas a los 44°C a 24 horas de incubación. Dentro de este grupo se encuentran las bacterias del género *Escherichia* y también especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (Palomo, G., 2011).

La principal bacteria representante del grupo de coliformes fecales es *Escherichia coli*. Es una bacteria estrictamente intestinal, indicador estricto de contaminación fecal. Se caracteriza por producir indol a partir de triptófano, ser oxidasa negativo, no hidrolizar la urea y presentar actividad enzimática β -galactosidasa y β -glucoronidasa. Se utiliza como indicadores de contaminación de desecho humano, debido a que provienen del material fecal del ser humano, se presentan en numerosas cantidades al ser evacuadas por el humano en un promedio de 100.000 a 400.000 millones de coliformes al día, además son fáciles de identificar por pruebas microbiológicas (Robert. M., 2013).

3.7 Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

La planta de tratamiento de aguas residuales es una estructura artificial donde se desarrolla un proceso natural controlado, el cual permite la reducción de materia orgánica y sustancias varias de carácter físico-químico y biológico a niveles convenientes. El objetivo es reducir la contaminación de las aguas residuales domésticas antes de su descarga al medio ambiente, favoreciendo la recuperación y conservación de la calidad de las aguas de la fuente receptora (Amanco, 2015).

3.7.1 Partes de la planta de tratamiento de agua residuales (Anexo 05)

- 3.7.1.1 Caja de Entrada-Registro: Esta contiene un sistema de rejas que permiten la retención y remoción de sólidos de gran tamaño.
- 3.7.1.2 Tanques de desarenador-sedimentador: Este consta de un tanque de sedimentación primaria en el cual se da un proceso físico por medio de la diferencia de densidades y pesos entre el líquido y las partículas suspendidas removiendo las arenas dando como resultado una reducción de sólidos suspendidos. Su función es la sedimentación de los sólidos, permitiendo que de inicio el proceso de descomposición biológica.
- 3.7.1.3 Reactor Anaeróbico (Tanque igualación y biodigestor): Este sistema trabaja con una distribución uniforme, el agua

sedimentada entra a la cámara de percolación para completar su tratamiento. En esta fase da inicio el tratamiento biológico el cual tiene como función la eliminación de contaminantes biológicos.

3.7.1.4 Sistema de sedimentación secundaria: En esta fase el agua cae al fondo por gravedad, permitiendo que los sólidos se depositen en el digestor, completando la fase final del tratamiento biológico, por medio de la reducción de nutrientes (nitratos y fosfatos).

3.7.1.5 Sistema de control de salida: En este punto se concentra el agua obtenida de los tres sistemas de tratamiento (Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III) para su descarga final.

4. JUSTIFICACIÓN

Se realizó este estudio preliminar para la evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, para determinar si el agua descargada a los acueductos cercanos causa un impacto ambiental desfavorable.

Este es un nuevo sistema de implementación para el tratamiento de agua en las escuelas municipales por lo que se considera importante evaluar el funcionamiento así como el tiempo requerido para poder poner en marcha el tratamiento del agua y determinar la factibilidad de reutilizar el agua tratada.

Las aguas residuales son descargadas en cuerpos receptores naturales, por lo que es importante conocer la calidad del agua descargada en estos cuerpos receptores para prevenir que las personas que tengan contacto con estas aguas adquieran algún tipo de enfermedad de tipo bacteriano, principalmente por *E.coli* la cual es la causante principal de muertes por diarrea en niños menores de 5 años, según encuesta Nacional materno infantil en Guatemala (Monzón. R., 2003). Así como la protección de fauna y flora del cuerpo receptor donde es descargada el agua tratada.

Además es importante conocer la calidad del agua obtenida en el tratamiento de aguas negras, ya que esta puede ser aprovechada en el uso de diferentes actividades tales como: riego de áreas verdes, uso en lavado de patios, sanitarios, entre otros, protegiendo la pérdida del recurso natural, el cual es fundamental para la vida en el planeta tierra, y que actualmente presenta pérdidas representativas por el mal uso que se le da por parte de la población en general.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia del tratamiento del agua residual en el Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas ubicada en la 12 av. "B" 10-65 zona 2 Colonia Ciudad Nueva de la Ciudad de Guatemala.

5.2 Objetivos específicos

5.2.1 Determinar la presencia de coliformes fecales y *E.coli* en el agua tratada.

5.2.2 Determinar los parámetros fisicoquímicos, turbiedad, color, pH, temperatura, DQO, DBO, fosfatos, nitratos y conductividad en el agua tratada.

5.2.3 Establecer si el agua tratada representa una fuente de contaminación para los cuerpos receptores naturales cercanos.

5.2.4 Identificar si el agua tratada puede ser utilizada en actividades de limpieza y riego dentro de las instalaciones de Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

6. HIPÓTESIS

El agua obtenida del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales instalada en el Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, no representa una fuente de contaminación importante para los cuerpos naturales donde es descargada.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Universo de Trabajo

El universo de trabajo estuvo constituido por el agua residual obtenida de la planta de tratamiento.

7.2 Población de trabajo

El agua se obtuvo de la planta de tratamiento instalada en el Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

7.3 Muestra

Se realizaron 2 muestreos de los 5 puntos de la planta de tratamiento de aguas residuales (Punto 1 entrada a PTAR, Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III, Punto 5 Salida de PTAR), para la comparación del comportamiento del sistema de tratamiento al inicio y después de la maduración del proceso, estos se realizaron al inicio y al final del estudio.

Durante el estudio se realizaron 19 muestreos incluyendo las tres plantas de tratamiento (Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III) de forma aleatoria en diferentes épocas del año, para que éstas sean significativamente representativas, dando un valor real del funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residuales, no dejándose influir estos resultados por situaciones de mantenimiento, sobrecarga de caudal, cambios en el medio ambiente u otros. Dando un total de 21 muestreos obteniendo 67 muestras durante todo el proceso de muestreo.

En la primera etapa del estudio se evaluó los cinco puntos del proceso que presenta el sistema de tratamiento de aguas residuales (Punto1 entrada a PTAR, Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III, Punto 5 Salida de PTAR), en

la segunda etapa se evaluaron tres puntos de los cuales se consideraron puntos críticos en el funcionamiento del sistema (Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III), realizando un último estudio al final del muestreo tomando los cinco puntos (Punto1 entrada a PTAR, Punto 2 PTAR I, Punto 3 PTAR II, Punto 4 PTAR III, Punto 5 Salida de PTAR) para hacer un diagnóstico de eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual.

7.4 Recursos

- Humanos:

Br. Marisol Samayoa Monzón (Tesisista)

Br. Mildred Desire Dubois Navas (Tesisista)

Dra. Karin Herrera (Asesora)

- Institucionales:

Laboratorio unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Bonilla.

Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA)

7.5 Materiales

7.5.1 Equipo

- Autoclave
- Termómetro
- Potenciómetro
- Espectrofotómetro
- Campana de flujo laminar
- Incubadora a 34 °C
- Incubadora a 44°C

- Incubadora a 20°C
- Refrigeradora
- Digestor
- Oxitop
- Iman

7.5.2 Materiales y cristalería

- Hielera
- Hielo
- Marcadores permanentes
- Etiquetas de identificación
- Frascos plásticos de 3 litro
- Frascos estériles de vidrio de 250 ml
- Guates de nitrilo
- Beaker
- Varia de vidrio
- Agua desmineralizada
- Tubos de vidrio
- Campanilla de Durham
- Gradilla
- Cono de Imhoff
- Mechero
- Pipetas Volumétricas (10 y 1ml)
- Pipetor
- Refrigeradora
- Asas bacteriológicas
- Cubetas

7.5.3 Medios

- Caldo lactosado
- Caldo Verde bilis brillante

7.5.4 Reactivos

- Estándar de pH 4,7 y 10
- Reactivo nitratos (nitroveros)
- Oxitoc
- Reactivo fosfato (phover)
- Viales de DQO
- Tableta de hidróxido de sodio

7.6 Metodología

Se identificaron los frascos para el análisis fisicoquímico y bacteriológico, con hora, día, punto de muestreo y quien realizó la muestra (Anexo 06).

La muestra fisicoquímica y bacteriológica se tomó de la caja de salida. Para el análisis fisicoquímico se tomó una muestra de 2-3 litros, la cual se almacenó en un recipiente plástico, introduciendo un termómetro en el recipiente correspondiente se hizo la lectura de la temperatura antes de ser trasladada la muestra al laboratorio. Posteriormente se tomó otra muestra en un recipiente de vidrio estéril, aproximadamente 200 ml para el análisis bacteriológico. El recipiente estéril se abrió hasta que se realizó la toma de muestra, posteriormente se cerró inmediatamente. La muestra se trasladó en cadena de frío al laboratorio y se analizó antes de las 24 horas desde la toma de muestra.

Se procedió a realizar las siguientes pruebas fisicoquímicas:

- Medición del color por medio de lecturas en un espectrofotómetro (Anexo 07)
- Toma de pH, utilizando un potenciómetro (Anexo 08)
- Demanda química de oxígeno: realizar lectura en espectrofotómetro del vial después de 2 horas a una temperatura de 142°C (Anexo 09)

- Demanda biológica de oxígeno: Incubar la muestra en el oxitop por 5 días a una temperatura de 20°C (Anexo 10)
- Fosfatos: Realizar lectura de la reacción con Phosver con la muestra de agua en espectrofotómetro (Anexo 11)
- Nitratos: Realizar lectura de la reacción de Nitro veros con la muestra de agua en espectrofotómetro (Anexo 12).
- Sólidos sedimentables: Realizar lectura en cono Imhoff en cm sedimentable (Anexo 13).
- Conductividad: Realizar lectura introduciendo el electrodo para su medición (Anexo 15)
- Turbiedad: Realizar lectura colocando la muestra en las cubetas de reacción del turbidímetro (Anexo 16)

Para las pruebas microbiológicas se sembró la muestra en diferentes diluciones (10 mL, 1 mL, 0.1mL), en un medio de caldo lactosado, incubando a 34°C por 48 horas, para las pruebas confirmatorias microbiológicas se utiliza el medio Verde bilis brillante incubando a 34°C por 48 horas para el análisis de coliformes fecales y en el medio para el crecimiento de *E. coli* (EC) a 44°C por 24 horas (Anexo 14) (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2008).

7.7 Diseño de investigación

7.7.1 Ubicación y selección de los puntos de muestreo

Con base al plano de la planta de tratamiento se ubicaron los puntos de descarga y el cuerpo receptor.

7.7.2 Captación de la muestra

Se tomaron en cuenta los siguientes factores para la captación de la muestra:

- Se utilizaron guantes para la toma de muestra
- Manipulación adecuada para evitar alteración en los resultados
- Frascos estériles

- Cadena de frío

7.7.3 Identificación de las muestras

- Lugar
- Fuente
- Día
- Hora
- Condiciones de transporte
- Temperatura
- Examen
- Tomada por
- Interesado
- Municipio
- Departamento

7.7.4 Determinación en Situ

- Temperatura
- Potencial de hidrogeno
- Material flotante

7.7.5 Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra

- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- Temperatura
- Sólidos suspendidos
- Coliformes fecales
- Medición del color
- Toma de pH
- Fosfatos

- Nitratos
- Sólidos sedimentables
- Turbiedad
- Conductividad

8. AVAL DE INSTANCIA OFERENTE PARA LA PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN, LOS CUALES PUEDEN SER RESULTADOS PARCIALES DEL PROYECTO MACRO DE LA INSTANCIA.

Se muestra el aval en el anexo No. 17

9. RESULTADOS

En las siguientes páginas se muestran los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos de los análisis de las muestras, obtenidos en los cinco puntos de muestreo de la planta de tratamiento durante diferentes épocas del año en el Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

En las tablas de la No. 01 a la No. 04 se presentan los resultados físicos correspondientes a los puntos 2 (PTARI) y 4 (PTARIII), indicados en los diferentes meses en que se realizó el estudio. En la tabla No. 05 se indican los valores obtenidos del análisis fisicoquímico al inicio y final de estudio en los puntos 1 (entrada a PTAR) y 5 (salida PTAR).

Se efectuaron 21 muestreos, en diferentes épocas del año tomando en cuenta periodo de estudio y vacaciones en el centro, obteniendo un total de 30 muestras para análisis fisicoquímico (pH, color, sólidos sedimentables, DQO, DBO, nitratos y fosfatos) y 42 muestras bacteriológicas (coliformes fecales y *E.coli*).

A continuación se presentan las tablas y sus respectivas gráficas.

En la tabla No.01 se muestran los resultados físicos obtenidos del punto 2 (PTARI) durante diferentes épocas de año tomando en cuenta periodo de estudio y vacaciones dentro del centro durante los años 2016 y 2017, dichos resultados indican estabilidad con respecto al pH, los resultados de color y sólidos sedimentables se ven afectados en los meses de época de lluvia.

Tabla No.01

Resultados físicos de la planta de tratamiento No.01 (PTAR I) del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

Fecha de muestreo	pH	Color aparente (UPC)	Sólidos sedimentables (mg/L)
Abril 2016	7.80	27.4	0.2
Mayo 2016	7.82	39.1	0.01
Octubre 2016	7.83	127	0
Noviembre 2016	7.30	100	4
Enero 2017	7.12	66.4	0
Febrero 2017	7.10	76	0
Febrero 2017	7.00	127	0
Marzo 2017	5.61	160	0
Marzo 2017	7.28	246	1
Junio 2017	7.21	258	2
Junio 2017	7.34	225	2
Julio 2017	7.40	350.6	1.5
Julio 2017	7.37	78	0.03
Julio 2017	7.40	285.6	0.01

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Empagua.

UPC: unidad de platino cobalto

En la tabla No.02 se muestran los resultados físicos obtenidos del punto 4 (PTARIII) durante diferentes épocas de año tomando en cuenta periodo de estudio y vacaciones dentro del centro durante los años 2016 y 2017, dichos resultados indican un comportamiento similar al punto 2 (PTARI), evidenciando un aumento en los valores de color y sólidos sedimentables en época lluviosa.

Tabla No. 02

Resultados físicos pH, color aparente y sólidos sedimentables de la planta de tratamiento No.3 del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

Fecha de muestreo	pH	Color aparente (UPC)	Sólidos sedimentables mg/L
Abril 2016	7.00	37	0.7
Mayo 2016	7.10	226	3.0
Octubre 2016	7.36	369	3.5
Noviembre 2016	6.66	180	0
Enero 2017	7.37	96	0
Febrero 2017	7.44	104	0
Febrero 2017	7.18	138	0
Marzo 2017	6.95	92	0
Marzo 2017	7.21	116	0
Junio 2017	7.18	137.6	0.5
Junio 2017	7.29	125	0.01
Julio 2017	7.36	391.4	0.1
Julio 2017	7.34	250.2	0.001
Julio 2017	7.29	382	0

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Empagua.

UPC: unidad de platino cobalto

En la tabla No.03 se muestran los resultados químicos obtenidos del punto 2 (PTARI) durante diferentes épocas de año tomando en cuenta periodo de estudio y vacaciones dentro del centro durante los años 2016 y 2017.

Tabla No.03

Resultados químicos DQO, DBO, nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento No.1 del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

Fecha de muestreo	DQO mg/L	DBO mg/L	Nitratos mg/L	Fosfatos mg/L
Abril 2016	105	48	792	314
Mayo 2016	45	45	770	1615
Octubre 2016	69	40	1848	58
Noviembre 2016	73	43	2684	266
Enero 2017	140	60	1848	62
Febrero 2017	954	430	7920	492
Febrero 2017	600	410	229	240
Marzo 2017	775	132	250	290
Marzo 2017	313	130	340	310
Junio 2017	559	141	528	249
Junio 2017	351	225	88	191
Julio 2017	620	400	616	95
Julio 2017	404	200	156	276
Julio 2017	376	160	616	386

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Empagua.

En la tabla No.04 se muestran los resultados químicos obtenidos del punto 4 PTARIII durante diferentes épocas de año tomando en cuenta periodo de estudio y vacaciones dentro del centro durante los años 2016 y 2017.

Tabla No.04

Resultados químicos DQO, DBO, nitratos y fosfatos del punto 4 (PTARIII) del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

Fecha de muestreo	DQO mg/L	DBO mg/L	Nitratos mg/L	Fosfatos mg/L
Abril 2016	648	118	968	680
Mayo 2016	388	388	2948	108
Octubre 2016	453	340	1408	76
Noviembre 2016	229	160	6864	294
Enero 2017	350	300	1848	150
Febrero 2017	475	220	7920	40
Febrero 2017	290	210	229	180
Marzo 2017	42	30	230	130
Marzo 2017	453	420	310	210
Junio 2017	321	141	352	208
Junio 2017	466	250	132	157
Julio 2017	840	480	572	91
Julio 2017	552	275	924	374
Julio 2017	517	240	396	170

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Empagua

En la tabla No.05 se muestran los resultados obtenidos al inicio y final del estudio en el punto 1 (entrada PTAR) y punto 5 (salida de PTAR) correspondientes al ingreso y salida de la planta de tratamiento del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, indicando la eficiencia por un periodo de 15 meses.

Tabla No.05

Porcentaje de rendimiento de la planta de tratamiento del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas

Análisis	Inicio		Porcentaje rendimiento	Final		Porcentaje rendimiento	Porcentaje de rendimiento final
	1	5		1	5		
pH	8.19	7.64	7	7.57	7.24	4	0
Color	970	905	7	2940	1694	42	35
DQO	661	619	6	611	423	30	24
DBO	451	161	64	280	210	25	0
Nitratos	968	797	18	660	484	26	8
Fosfatos	680	314	54	100	374	0	0

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Empagua

1. Entrada al PTAR (punto 1)
5. Salida PTAR (punto 5)

En la tabla No.06 se presentan los resultados microbiológicos para coliformes fecales en el punto 2 (PTARI) y punto 3 (PTARIII) del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, durante diferentes épocas del año por un periodo de 15 meses, observándose una disminución de la carga microbiana durante el estudio.

Tabla No.06

Resultados obtenidos del análisis microbiológico para Coliformes fecales en el punto 2 (PTARI) y punto 3 (PTARIII) del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

Muestreo	PTARI NMP/100mL	PTARIII NMP/100mL
2	>1600	>1600
3	>1600	>1600
4	>1600	>1600
5	>1600	920
6	>1600	>1600
7	>1600	>1600
8	>1600	>1600
9	>1600	>1600
10	>1600	>1600
11	>1600	24
12	>1600	220
13	>1600	170
14	920	120
15	63	<1.8
16	21	25
17	47	14
18	24	47
19	23	23
20	23	23
21	24	<1.8

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Empagua

En la tabla No.7 se presentan los resultados microbiológicos para *E.coli* en el punto 2 (PTARI) y punto 3 (PTARIII) del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas, durante diferentes épocas del año por un periodo de 15 meses, los parámetros establecidos para el cumplimiento fueron considerados por la disminución de carga microbiana durante los procesos de tratamiento.

Tabla No.07

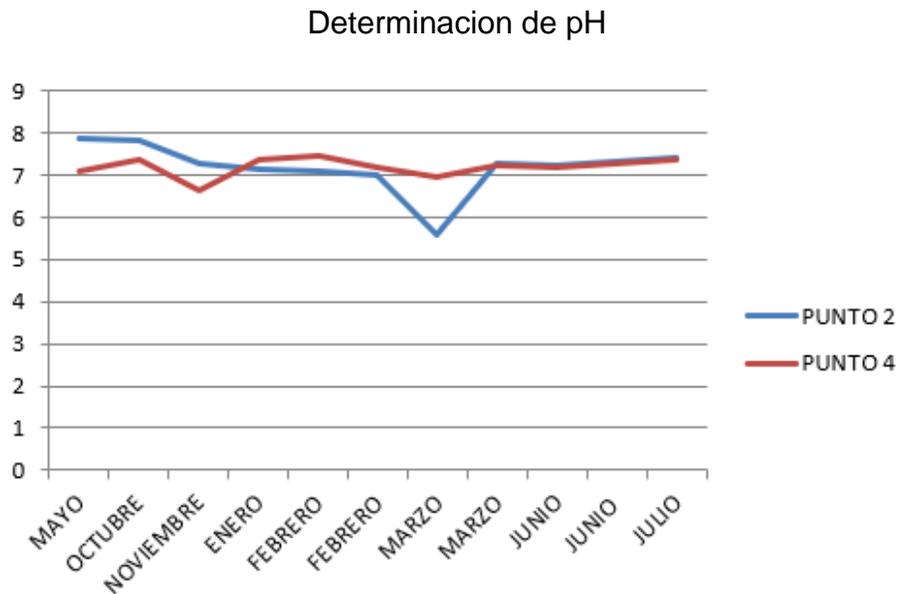
Resultados obtenidos del análisis microbiológico para *E.coli* en el punto 2 (PTARI) y punto 3 (PTARIII) del Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

Muestreo	PTARI NMP/ 100mL	PTARIII NMP/ 100mL
2	>1600	>1600
3	>1600	>1600
4	>1600	>1600
5	>1600	170
6	>1600	>1600
7	>1600	>1600
8	>1600	>1600
9	>1600	>1600
10	3.6	<1.8
11	1600	<1.8
12	350	170
13	280	22
14	150	31
15	6.8	<1.8
16	15	25
17	21	<1.8
18	17	21
19	23	17
20	<1.8	<1.8
21	24	<1.8

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Empagua

}

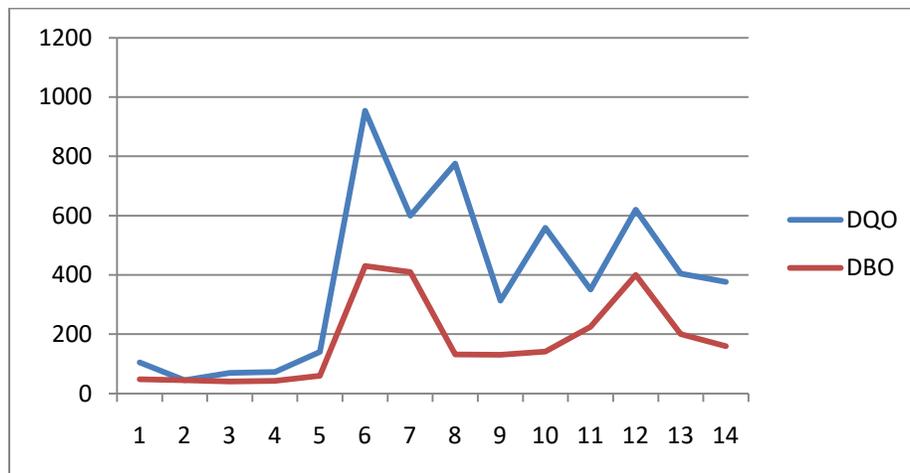
GRAFICA No.01



Como se observa en la grafica anterior el pH de ambas plantas se mantuvo estable en entre las diferentes épocas del año, permaneciendo los valores cercanos a un pH neutro.

GRAFICA No. 02

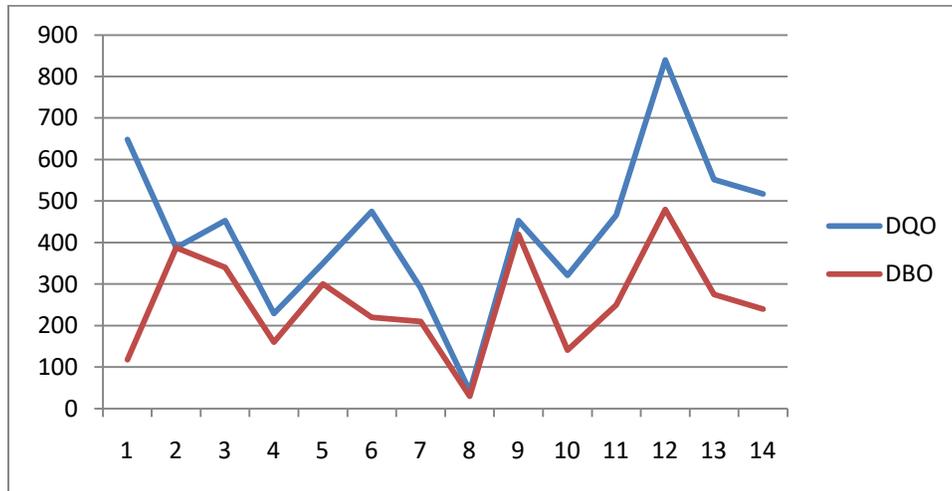
Determinación de Demanda Química de Oxígeno Y Demanda Biológica de Oxígeno PTARI



Esta grafica nos muestra la relación entre el DQO y el DBO en cual son dependientes uno de otro siendo el más alto el DQO porque hay mayor sustancias oxidables por vía química que por biológica.

GRAFICA No. 03

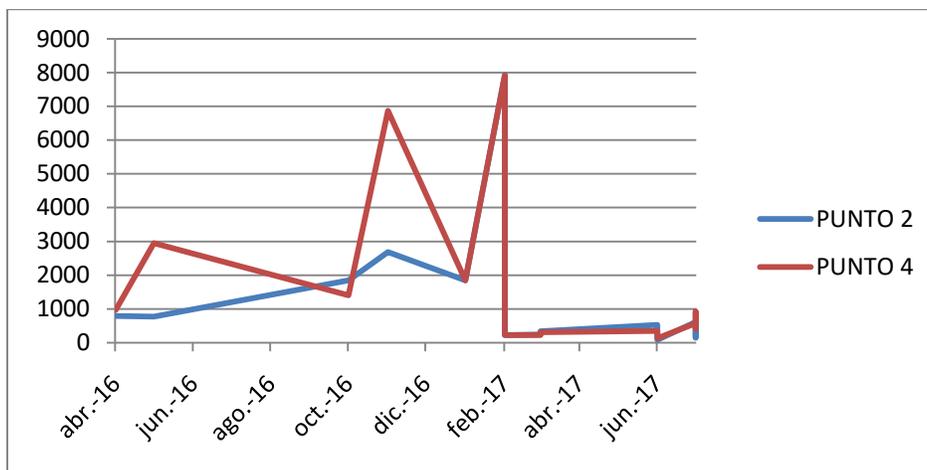
Determinación de Demanda Química de Oxígeno Y Demanda Biológica de Oxígeno PTARIII



La siguiente grafica indica la relación entre el DQO y DBO mantenido un valor mayor en el caso de DQO con respecto al DBO debido a que existe un número mayor de sustancias oxidadas por vía química que por vía biológica.

GRAFICA No. 04

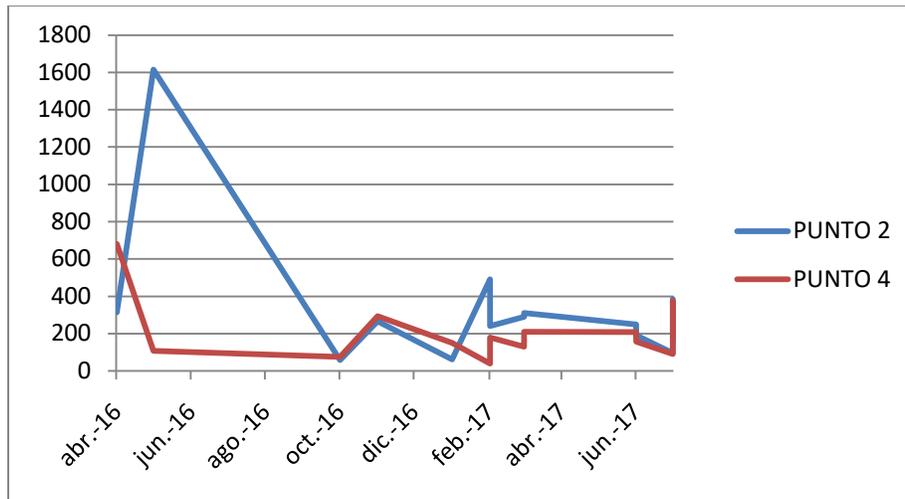
Determinación de Nitratos



En la grafica anterior podemos observar que al a partir del mes de febrero del 2017 los nitratos inician a tener un descenso considerable, que puede deberse a la maduración que va obteniendo la planta de tratamiento de agua residual.

GRAFICA No. 05

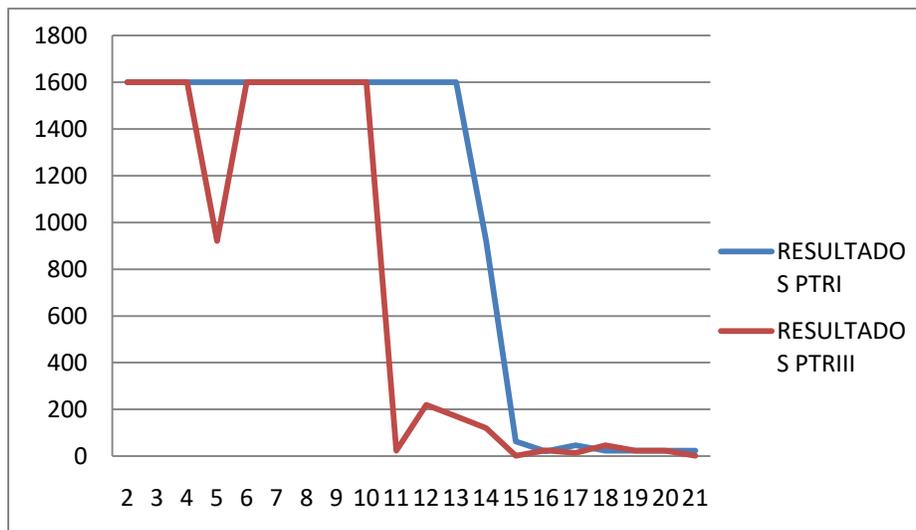
Determinación de Fosfatos



En la grafica podemos darnos cuenta que el punto 2 (PTAR II) presenta una elevación de fosfatos al inicio del muestreo el cual se logra regular hasta el mes de octubre del 2016 que corresponde a al muestro numero 7.

GRAFICA No. 06

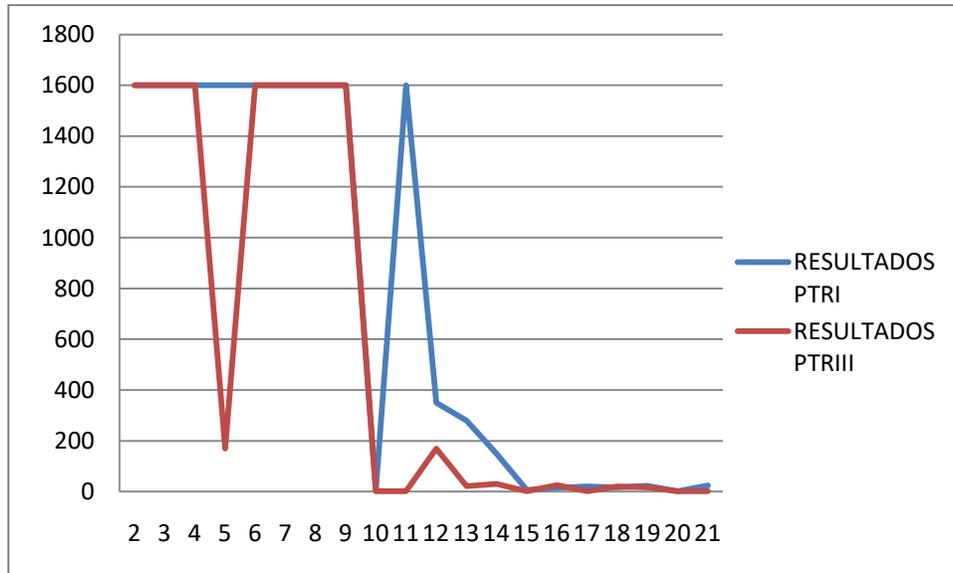
Análisis Bacteriológico de Coliformes Fecales



En la siguiente grafica se observa la disminución de la carga microbiológica de coliformes fecales durante el periodo del estudio evidenciando que a mayor madurez de la planta esta es más eficiente en la eliminación de la carga microbiana, procedente del efluente a tratar.

GRAFICA No. 07

Análisis Bacteriológico *E. coli*



En la grafica anterior se observa que los parámetros de *E.coli* al inicio de la apertura de la planta de tratamiento, presento valores elevados los cuales mostraron un descenso con el tiempo de la maduración de la planta, presentando al final del estudio valores estable con respecto al recuento de *E. coli* presente en el agua.

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El siguiente estudio tenía como objetivo establecer la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, localizado en el Centro de atención de niños Los Cedros y Centro de atención de las Rosas, compuesto por tres plantas individuales las cuales descargan el efluente tratado en una caja de salida común, para ser incorporadas de forma unificada a los efluentes naturales cercanos. El estudio comprendió en tres partes, la primera parte se evaluó el diseño de la planta para establecer los puntos de muestreo, en la segunda parte se evaluó la maduración de la planta con respecto al tiempo y en la parte final se evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento, evaluando en la parte dos y tres los parámetros fisicoquímicos y microbiológico en diferentes épocas del año (Roldan A., 2006).

En la primera parte del estudio se analizó el diseño del sistema de tratamiento el cual cuenta con tres plantas las cuales trabajan de forma individual descargando el efluente final en una caja receptora común. Estableciendo como punto de análisis la fase final correspondiente al tratamiento secundario el cual permitió establecer el funcionamiento individual de cada planta, además se analizó la caja de salida que unifica el efluente final de cada una de las plantas permitiendo evaluar el sistema por completo. Durante el estudio se detectó que la distribución del sistema de tratamiento no permite distribuir de forma unificada el caudal afectando el rendimiento final del proceso, debido a que las plantas 1 y 3 presentaron una mayor demanda de efluente con respecto a la planta 2, siendo saturadas afectando su rendimiento final. Al ser mínimo el caudal captado por la planta número 2 esta no presentó una descarga constante en la caja final por lo que no fue incluida en el estudio al no presentar una cantidad de análisis representativos que permitieran evaluar su progreso. Siendo necesario evaluar la distribución equitativa del efluente captado a las tres plantas para asegurar su buen funcionamiento individual así como su eficiencia en forma unificada, ya que el mal funcionamiento de una afecta directamente el desempeño del sistema al

captar de forma unificada el agua tratada en cada planta antes de su descarga final (Amanco, 2015).

En la parte dos del estudio se analizó cada planta de forma individual, siendo incluidas en esta parte únicamente la planta de tratamiento 1 (PTARI) y la planta de tratamiento 3 (PTARIII), evaluando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en diferentes épocas del año para establecer el comportamiento de los mismos. El primer parámetro evaluado fue el pH el cual se evaluó in situ para asegurar valores confiables, debido a que el pH se puede ver afectado por la temperatura en que se toma la muestra al ser dependiente las reacciones químicas, por lo que es necesario evaluar los parámetros en las condiciones naturales del efluente. El valor del pH permite determinar la calidad del agua residual al verse alterado por contaminantes. Para la PTARI se reportaron valores de pH en un rango de 5.61 - 7.83 y para la PTARIII de 6.66 - 7.44 presentando ambas plantas valores dentro de los rangos establecidos (pH de 6 – 9 ver anexo N.4). Siendo el único valor fuera del rango de referencia de 5.61 correspondiente a la PTARI evidenciando la presencia de CO₂ proveniente de los microorganismos presentes en el agua (Roldan A. 2006).

El color es un parámetro que permite evidenciar la presencia de metales y residuos orgánicos, en el estudio se evaluó el color aparente el cual es proporcionado por la materia disuelta así como por las sustancias en suspensión, este se relaciona con el pH, debido a que la prueba no incluyo la centrifugación de la muestra, no se pudo establecer el color verdadero por lo que no se evidencio la relación entre pH y color, al ser interferido el color con la presencia de turbidez en la muestra (Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, DGN., 2000). Los rangos reportados del color durante el estudio fueron de 27 UPC a 350 UPC para la PTARI y de 37 UPC a 391 UPC para la PTARIII, presentado valores dentro del rango de referencia siendo el valor máximo permisivo de 500 UPC (ver anexo No. 4).

La demanda química de oxígeno permite identificar la cantidad de materia orgánica presente en el agua, proveniente de animales, vegetales y actividades

humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Un aumento en los valores de DQO indica un alto porcentaje de proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites. Para reducir la carga de DQO se implemento rejillas de retención de grasas y aceites provenientes de las actividades dentro de la escuela permitiendo su retención y eliminación antes del ingreso al sistema de tratamiento.

En el caso de la demanda biológica de oxígeno determina la cantidad de oxígeno necesario para que un microorganismo pueda degradar la materia orgánica presente en el agua, siendo este dato relacionado directamente con la carga microbiológica presente en el agua ya que es un indicador de contaminación microbiano. El DQO y el DBO se ven relacionados directamente, presentado un valor mayor para el DQO con respecto DBO tal como se puede observar en los resultados obtenidos (grafica No. 2 y No.3) durante el estudio, debido a que existen un mayor número de sustancias oxidables por vía química que por la vía biológica (Roldan A., 2006).

El nitrógeno presente en el agua se encuentra en cuatro formas básicas, correspondientes al nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato. A medida que el agua se estabiliza por oxidación bacteriana en medio aerobio se genera nitritos y posteriormente nitratos, siendo analizados en el estudio los nitratos, ya que el predominio de este en aguas residuales indica de que el residuo se ha estabilizado con la demanda de oxígeno, indicando la presencia de crecimiento microbiano. Durante el estudio se observo una disminución de estos durante los últimos meses correspondientes a ambas plantas durante el periodo de febrero a julio 2017, evidenciando la capacidad de las plantas de tratamiento a reducir la carga microbiana durante el tiempo de maduración, comportamiento que se puede correlacionar con los recuentos bacterianos presentes en las últimas muestras analizadas (Estela J., 2009).

La carga de fosfato descargada al efluente receptor en concentraciones elevadas puede causar crecimiento excesivo de algas ya que este es un nutriente óptimo para su crecimiento, por lo que es importante el control de las concentraciones descargada del mismo para prevenir alteraciones en los efluentes

receptores. Los valores obtenidos de fosfatos presentes en el agua tratada se presentaron en los últimos meses dentro del rango de 95 mg/L a 386 mg/L para PTARI y de 91 mg/L a 374 mg/L en la PTRIII, estos valores se ven influenciados por la cantidad de excretas retenidas en la caja receptora así como de los productos de limpieza y detergentes utilizados, al ser los principales portadores de fosfatos dentro del sistema de tratamiento, ya que durante el proceso de tratamiento los fosfatos provenientes de los productos de limpieza forman componentes más complejos que no permiten su eliminación acumulándose en el sistema, presentando valores mayores posteriores a su tratamiento (Echarri L., 2008).

En los resultados microbiológicos se observa una disminución de la carga de coliformes fecales y *E.coli* con el tiempo de maduración de la planta de tratamiento, estableciendo valores dentro del rango de 21 a 63 NMP/100mL y <1.8 a 47 NMP/100mL con respecto a las coliformes fecales en PTARI y PTRIII, para *E. coli* valores entre <1.8 a 24 NMP/100mL y <1.8 a 25 NMP/100mL en PTARI y PTRIII respectivamente, presentando valores dentro de los rangos permitidos establecidos por el Ministerio de Ambiente (Ver anexo 04). Estos valores correlacionan con la disminución de la carga de nitratos y DBO al ser dependientes entre ellos, por lo que se puede evidenciar que la planta de tratamiento tiene la capacidad de disminuir la carga bacteriana captada al inicio por medio del proceso de tratamiento reduciendo la carga de DBO y nitratos los cuales aportan los nutrientes requeridos para el crecimiento bacteriano, por medio de un sistema de fases reduciendo una parte de la carga de DBO en el tratamiento primario, siendo eliminada otra parte de DBO en el tratamiento secundario así como la disminución de los nutrientes, limitando el crecimiento microbiano y favoreciendo a su disminución, por lo que cada planta de tratamiento cumple con las funciones requeridas dentro de cada una de sus fases (Palomo, G. 2011).

En la parte final del estudio se determinó la eficiencia de la planta de tratamiento siendo este el objetivo principal del mismo, estableciendo los porcentajes de rendimiento con respecto a los diferentes valores fisicoquímicos analizados, comparando los porcentajes obtenidos al inicio del estudio y al final para establecer su eficiencia durante el tiempo de funcionamiento. Los valores de rendimiento obtenidos fueron de: pH: 0% ; color 35%; DQO: 24%; DBO: 0%; Nitratos: 8% y fosfatos del 0%, en algunos casos no se observa un porcentaje de rendimiento debido a que la carga inicial se presentaba muy cercana o dentro de los valores establecidos por lo que no se observó una disminución representativa de la misma. A pesar que la planta presenta un adecuado funcionamiento en cada una de sus fases, esta no presenta valores de rendimiento que sobrepasen el 80% por lo que no se puede establecer como una planta eficiente para el tratamiento de agua residuales, siendo necesario su seguimiento, así como la distribución equitativa del caudal para asegurar el funcionamiento de las tres plantas de tratamiento de forma simultánea mejorando así la eficiencia de la misma.

12. CONCLUSIONES

- La planta de tratamiento ubicada en el Centro de Atención de Niños los Cedros y Centro de Atención de las Rosas en la 12 av. "B" 10-65 zona 2 Colonia Ciudad Nueva de la Ciudad Guatemala, presentó una eficiencia de 0% para pH, 35% para color, 24% para DQO, 0% para DBO, 8% para nitratos y 0% para fosfatos.
- La presencia de coliformes fecales en el agua tratada para la PTARI fue de 21 a 63 NMP/100 mL y de <1.8 a 47 NMP/100mL para la PTARIII en los últimos meses evaluados.
- La presencia de *E. coli* en el agua tratada para la PTARI fue de <1.8 a 24 NMP/100mL y para la PTARIII de <1.8 NMP/100mL a 25 en los últimos meses evaluados.
- Los parámetros fisicoquímicos para el agua tratada en los últimos meses fueron: pH 5.61 a 7.83, color 27UPC a 391UPC, DQO 313mg/L a 840mg/L, DBO 130mg/L a 480mg/L, nitratos 800mg/L a 924mg/L, fosfatos 91mg/L a 386mg/L.
- El agua tratada representa una fuente de contaminación para los receptores naturales cercanos.
- El agua tratada no puede ser utilizada en actividades de limpieza y riego dentro de las instalaciones del Centro de Atención de Niños los Cedros y Centro de Atención de las Rosas.

13. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el monitoreo constante de la planta hasta establecer su estabilidad por maduración, siendo necesaria la distribución equitativa del efluente en las tres plantas de tratamiento que conforman el sistema para asegurar el funcionamiento del mismo.
- Se debe asegurar el mantenimiento adecuado según indicaciones del fabricante incluyendo el tratamiento constante de lodo así como la limpieza de las rejillas de retención de grasas,
- Se recomienda incorporar rejillas de retención en la caja principal para prevenir la acumulación de jabones y grasas las cuales pueden alterar el funcionamiento adecuado de la planta
- Se recomienda evaluar la estabilidad de la planta antes de utilizar el agua obtenida para actividades de riego y limpieza.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amanco-mexichem Guatemala. (2015). *Manual de operación y mantenimiento sistema de tratamiento*. Proyecto Cedros y Rosas, Zona 2 Ciudad de Guatemala.

American Public Health Association. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th Edition.

BBCMundo. (2008, 18 de agosto). El dilema de las aguas residuales. *BBCMundo.com*. Recuperado de: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_7567000/7567969.stm

Borras C., Lapo, B., Fernández L. (2015). *Electroquímica en el tratamiento de efluentes*. [Versión de Universidad Técnica de Machala]. Recuperado de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6645>

Cantoral, R. (2015). *Tratamiento de Aguas Residuales Grises Domesticas con la especie Paragüitas Cyperus alternifolius en humedales artificiales, urbanización Zárate - San Juan de Lurigancho 2015*. (Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo). Recuperado de: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/118>

Da Cámara, L., Hernández, M., Paz, L. (2014). *Manual de Diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*. Recuperado de: <http://unciencia.ambientalex.info/infoCT/Mandisplatraaguresaliar.pdf>

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez L., Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Recuperado de: http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf

Echarri, L. (2008). *Ciencia de la tierra y medio ambiente*. Recuperado en: www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/01IntrCompl/111Model.htm

Estela J. (2009) *Análisis y propuesta de mejora de descarga de aguas residuales, en una industria farmacéutica de medicamentos de venta libre* (Tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala.

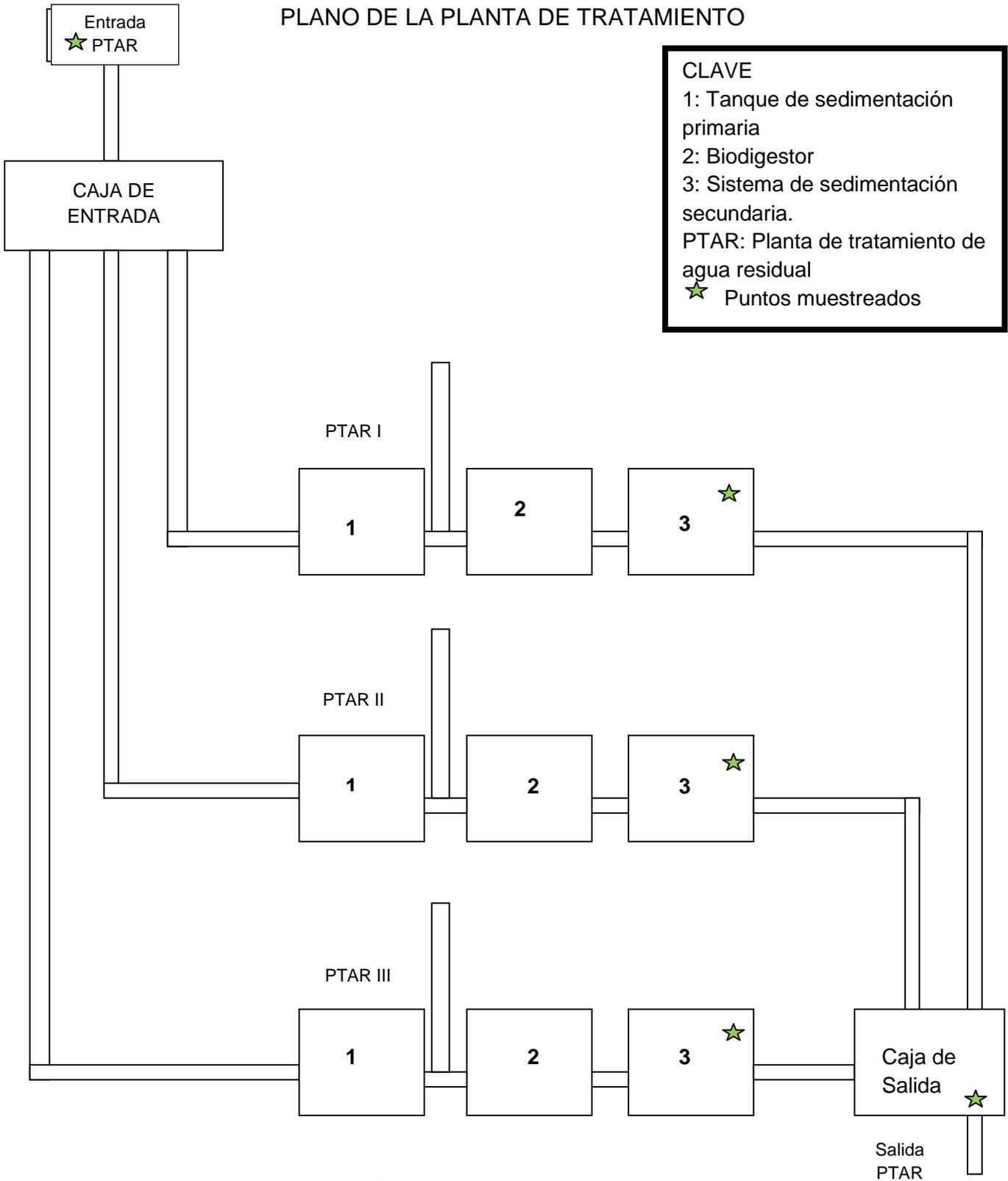
- HACH. (2004) *PROCEDURE MANUAL Spectrophotometer*. U.S.A: Editorial HACH.
- HACH. (2014). *Manual del Usuario Hach 2100AN Turbidimeter* . U.S.A: Editorial HACH.
- HANNA. (2008). Manual de instrucciones HI 2210. Recuperado de:
<http://www.hannainst.es/catalogo-productos/medidores-de-ph/phmetros-sobremesa/medidores-de-ph-de-sobremesa-hi-22102211>
- González, M., Chiroles, S. (2010). *Uso seguro y riesgo microbiológico del agua residual para la agricultura*. La Habana, Cuba. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM).
- Méndez, A. (2016). Montaje de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Malher, S.A. (Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4966/>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2008, 9 de enero). Manual General del Reglamento de las Descargas y Reúso de aguas residuales y la disposición de lodos. *Diario de Centro América*. Recuperado de:
<http://iac.com.gt/MANUAL%20GENERAL.PDF>
- Monzón, R. (2003). *Efecto del agua de arroz con zanahoria en el tratamiento de la diarrea aguda en niños de seis a 60 meses de edad*. (Tesis de pre grado) Recuperado en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2179.pdf
- Moya, D., Collay, S. (2015). *Las aguas residuales y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad Castillo, parroquia San Antonio de Pasa, cantón Ambato de la provincia de Tungurahua*. (Tesis de Licenciatura, Universidad técnica de Ambato). Recuperado de:
<http://redi.uta.edu.ec/handle/123456789/15880>
- Operaza, N. (2006). Lodos residuales: estabilidad y manejo. *Revista Caos Conciencia*, 1, 51-58.
- Orellana, J. (2005). *Características de los líquidos residuales*. Recuperado de:
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_08_Caracteristicas_de_Liquidos_Residuales.pdf

- Oyarso, O. (2015). *Formulación de modelos de pronóstico para el control de calidad de agua residual de una Planta de Tratamiento de Agua Residuales Municipales*. (Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Recuperado de: <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/837>
- Palomo G. (2011). *Irrigación de cultivos, una propuesta para la correcta disposición final de las aguas residuales tratadas*. (Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3301_C.pdf
- Pedreño A., Viguera A., Castilo L. (2015). Modelización hidrodinámica y bioquímica de la generación de sulfuros en la impulsión de saneamiento de “Las Gaviotas” (Murcia). Reducción de sulfuros mediante inyección de aire. *Anuario de Jóvenes Investigadores*, (8), 96-98. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5350/mhb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, C., León, F., Degadillo, G. (2013). Manual de Tratamiento de Aguas. Universidad Autónoma de México. Recuperado de: http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamientodeaguas_manualprac.pdf
- Pérez, M. (2016). *Caracterización de bacterias filamentosas en el funcionamiento de un reactor de las plantas de tratamiento de aguas residuales de origen cervecero*. (Tesis de Licenciatura, Universidad del Salvador). Recuperado de: <http://ri.ues.edu.sv/10290/1/19201031.pdf>
- Quiñónez, J. (2009). Análisis y propuesta de mejora de descarga de aguas residuales, en una industria farmacéutica de medicamentos de venta libre (Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1137_Q.pdf
- Rivera R., Palacios O., Chávez J. (2007). Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca de Valle de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23(2), 69-77.

- Roldán, A. (2006). Determinación de la Calidad Físico-Química y Bacteriológica del agua para consumo humano que se Distribuye a la Población del Municipio de Guazacapán, Santa Rosa (Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala) Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2354.pdf
- Rubio H., Balderrama L., Barraza E. (2015). Niveles de Contaminación del Agua Potable en la Cabecera municipal de Ascensión, Chihuahua, Mexico. *Revista de Investigación de la Universidad de la Salle Bajío*, 7(2), 178-201.
- Sánchez M., Peón I., Juárez T. (2016). Evaluación inicial de parámetro de campo de un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 173-184.
- Sánchez, A. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, DGN. (2000) *Análisis de agua- Determinación de Sólidos Sedimentables en aguas Naturales, Residuales y Residuales tratadas- Método de Prueba*. Recuperado de: <http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/NMX-AA-fisicos.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Análisis de agua: Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales Nitrógeno*. Recuperado de: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-026-SCFI-2001.pdf>
- Tomasini, A. (2001). *Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua*. Recuperado de: repositorio.imta.mx/bitstream/20.500.12013/1170/1/IMTA_075.pdf
- UNESCO. (2003). *Agua para todos, agua para la vida*. Recuperado de: <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- WTW Cond 330i. (2001). Instrucciones de Operación Cond 330i. Recuperado de: <https://www.manualslib.com/manual/1239086/Wtw-Cond-330i.html>

15. ANEXOS

ANEXO 01 PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO



Fuente: Amanco-mexichem Guatemala, 2015

ANEXO 02
 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA
 RESIDUAL Y SUS PROCEDENCIAS

Características	Procedencia
Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
Olor:	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos:	Agua de suministro, agua residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración.
Temperatura:	Agua residuales domésticas e industriales
Constituyentes químicos: Orgánicos	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Otros	Degradación natural de materia orgánica
Inorgánicos	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
Ph	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Agua residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes	aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Gases: sulfuro de hidrogeno, metano, oxigeno	Descomposición deresiduos domeesticos
Constituyentes biológicos	
Animales	Cursos de agua y panta de tratamiento
Plantas	Cursos de agua y plantas de trataiemento
Protistas	Agua residuales domésticas, infiltración de agua superficial. Pantas de tratamiento
Virus	Aguas residuaees domesticas

Fuente: Manual de Diseño para planta de tratamiento de agua residuales alimenticias

ANEXO 03
CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN AGUA RESIDUAL

Contaminante	Razón de importancia
Sólidos en Suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando vierte agua residual sin tratar al entorno acuático
Materia orgánica Biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, e la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y el desarrollo de condiciones sépticas
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes prioritarios	Son compuesto orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se encuentran en agua residual.

Fuente: Manual de Diseño para planta de tratamiento de agua residuales alimenticias

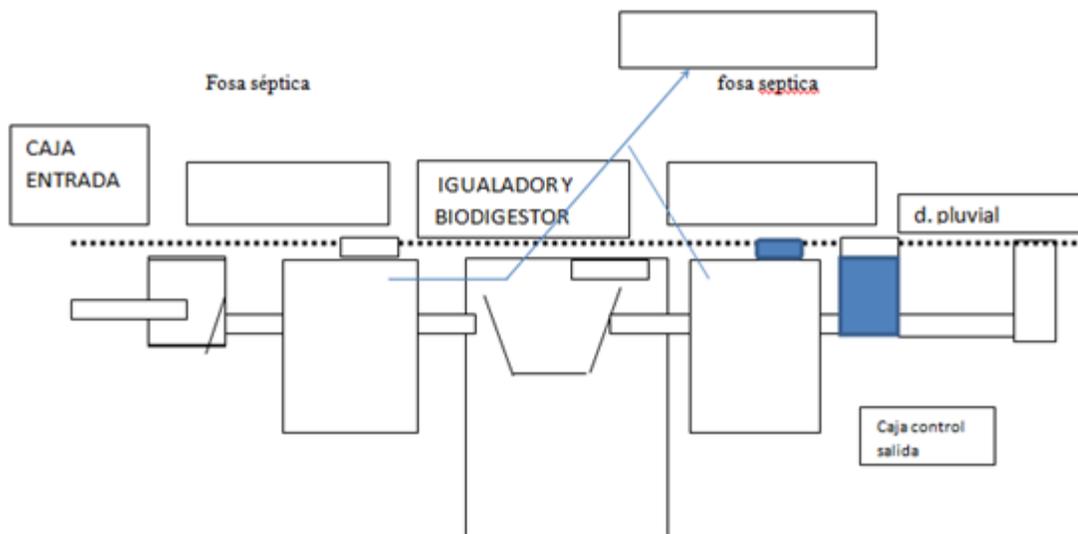
ANEXO 04
PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR+/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Material flotante	Ausencia/Presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	menor 1×10^4
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades Platino Cobalto	500

TCR=temperatura del cuerpo receptor, en grados celsius.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016.

ANEXO 05 ESQUEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO



Fuente: Amanco-mexichem Guatemala. 2015

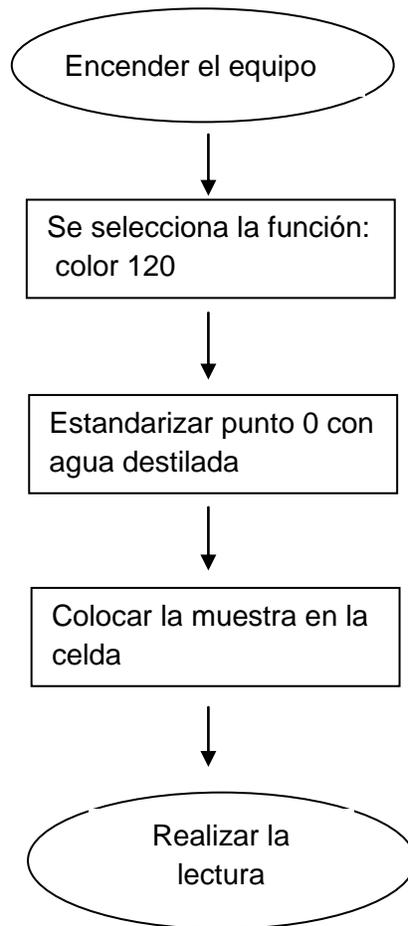
En la imagen se observa la distribución de la planta de tratamiento, así como sus principales componentes para llevar a cabo el proceso de tratamiento de agua residual.

ANEXO 06
ETIQUETA DE IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria	
Facultad de Ingeniería	
ERIS-USAC	
<u>MUESTRA DE AGUA</u>	
Lugar:	
Fuente:	
Día:	
Hora:	
Condiciones de transporte:	
Temperatura:	
Examen:	
Tomada por:	
Interesado:	
Municipio:	Depto.

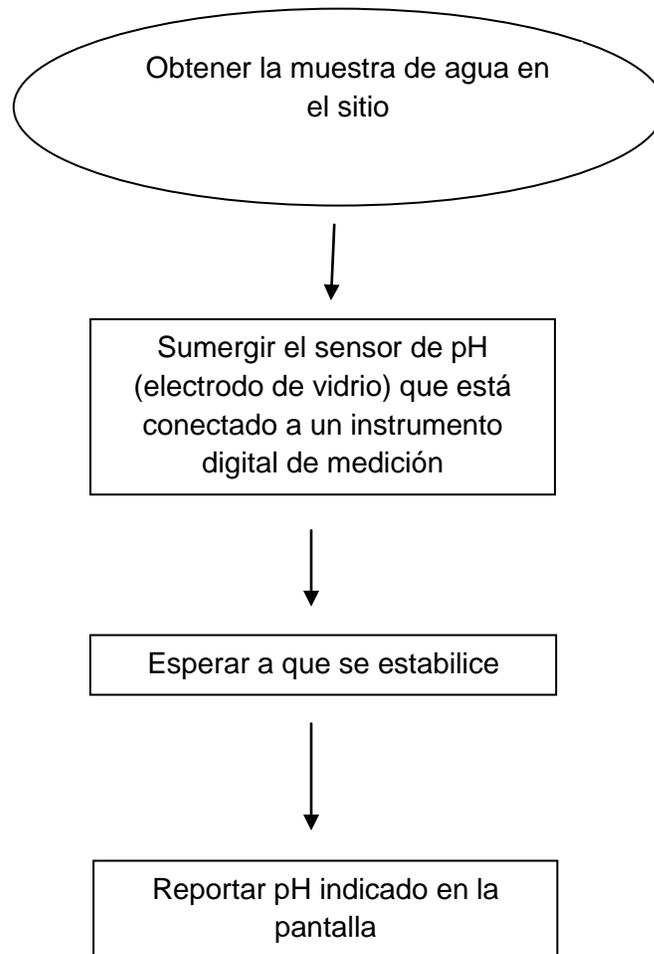
Fuente: Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Facultad de Ingeniería
ERIS-USAC

ANEXO 07
PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DEL COLOR EN AGUA RESIDUAL



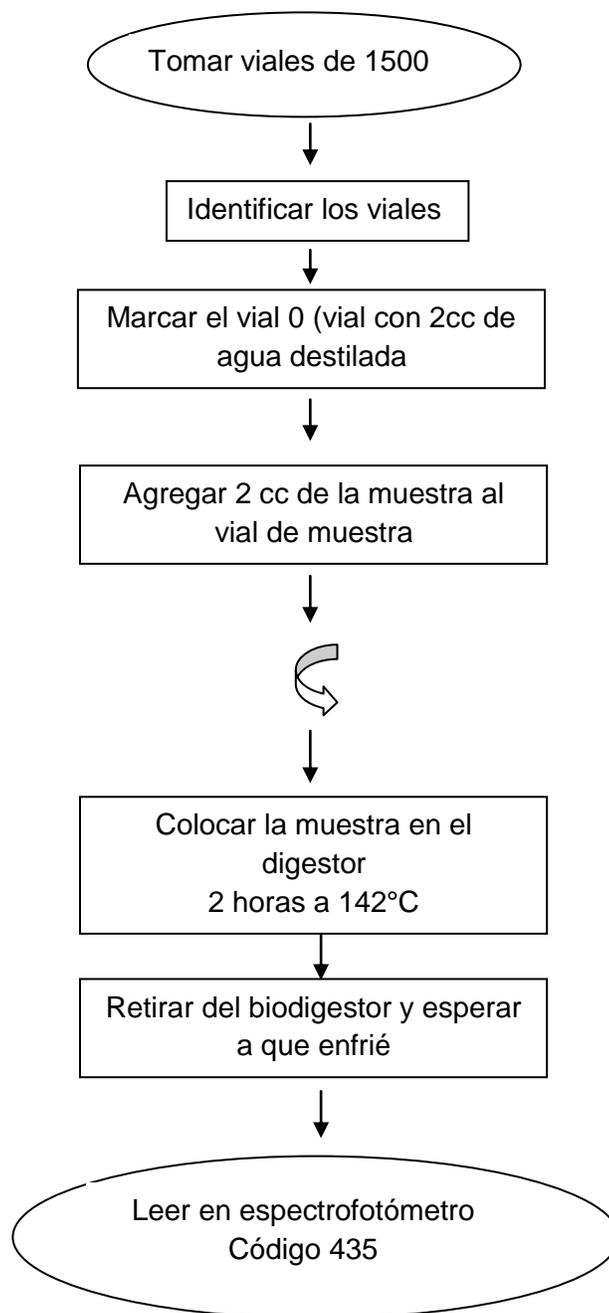
Fuente: HACH. (2004) *PROCEDURE MANUAL Spectrophotometer.U.S.A:*
Editorial HACH

ANEXO 08
PROCEDIMIENTO DE TOMA DE PH



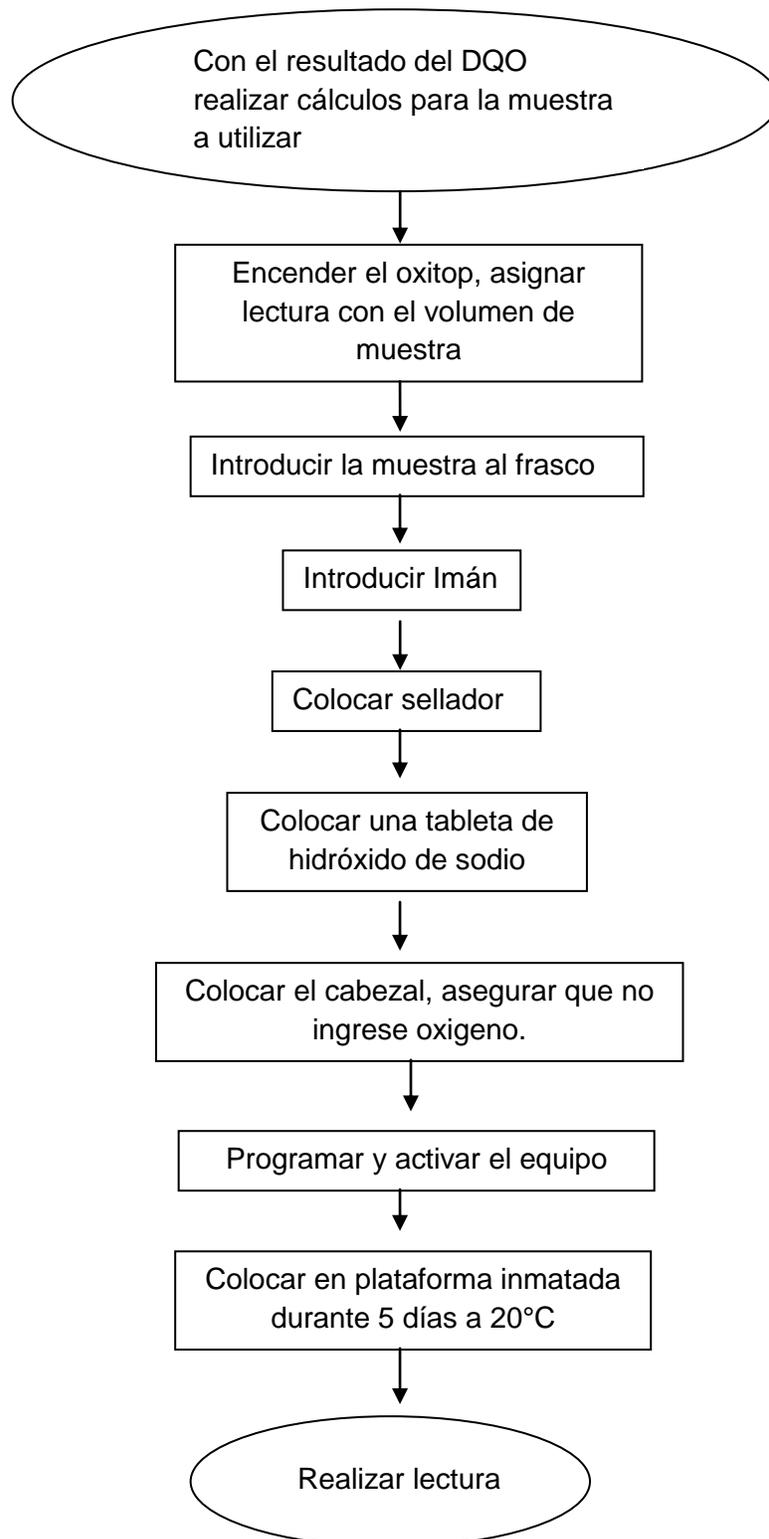
Fuente: HANNA. (2008). *Manual de instrucciones HI 2210*.

ANEXO 09
PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE DQO



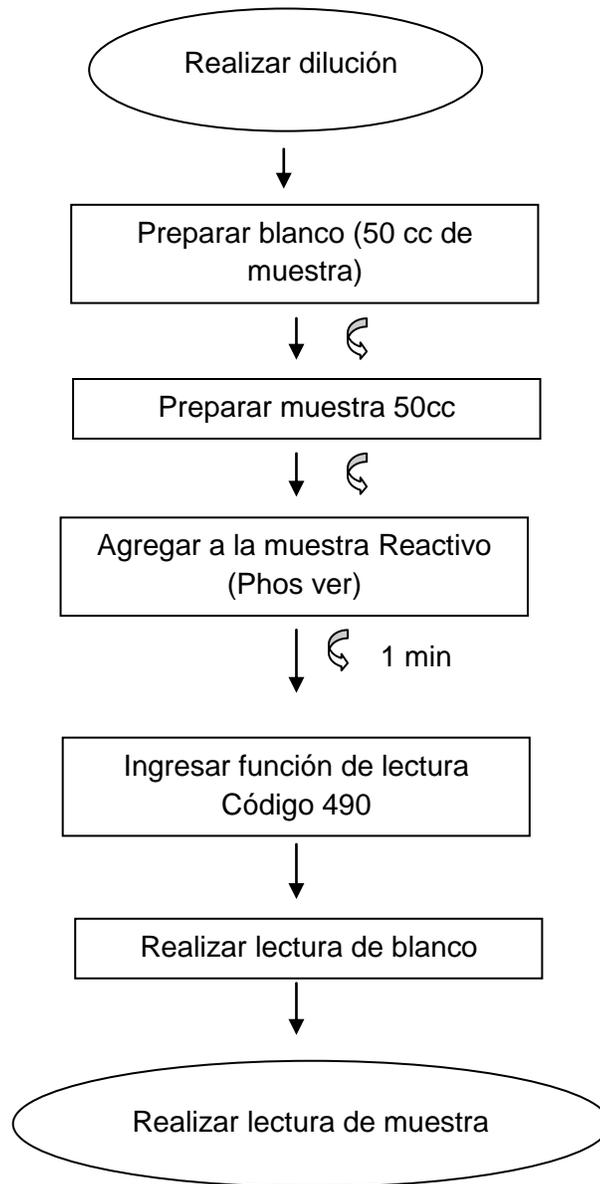
Fuente: HACH. (2004) *PROCEDURE MANUAL Spectrophotometer*. U.S.A: Editorial HACH.

ANEXO 10
PROCEDIMIENTO EN LA DETERMINACIÓN DE DBO



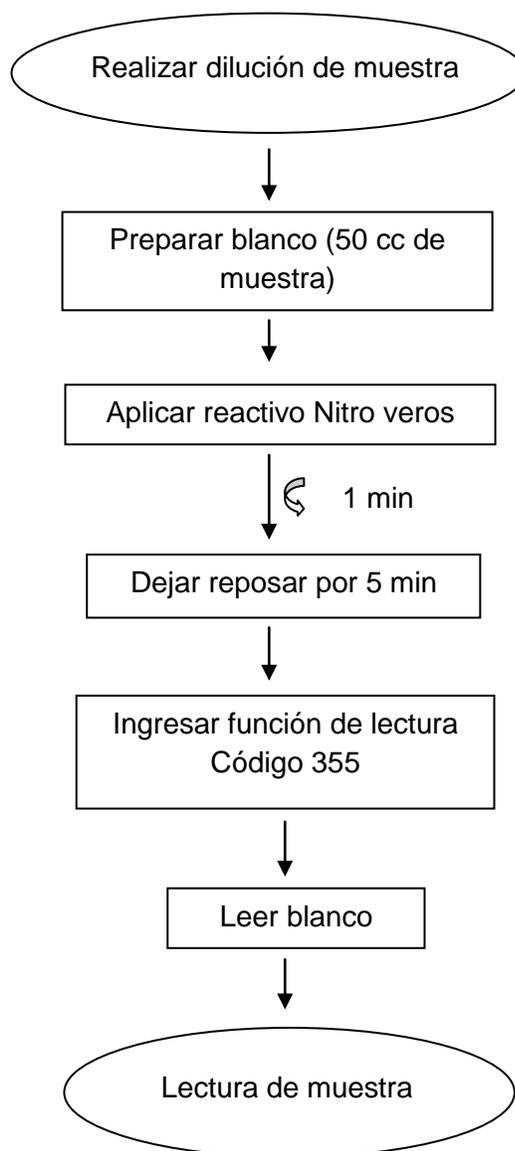
Fuente: WTW OxiTop OC100. (2006). OPERATING MANUAL OxiTop Control.

ANEXO 11
DETERMINACIÓN DE FOSFATO



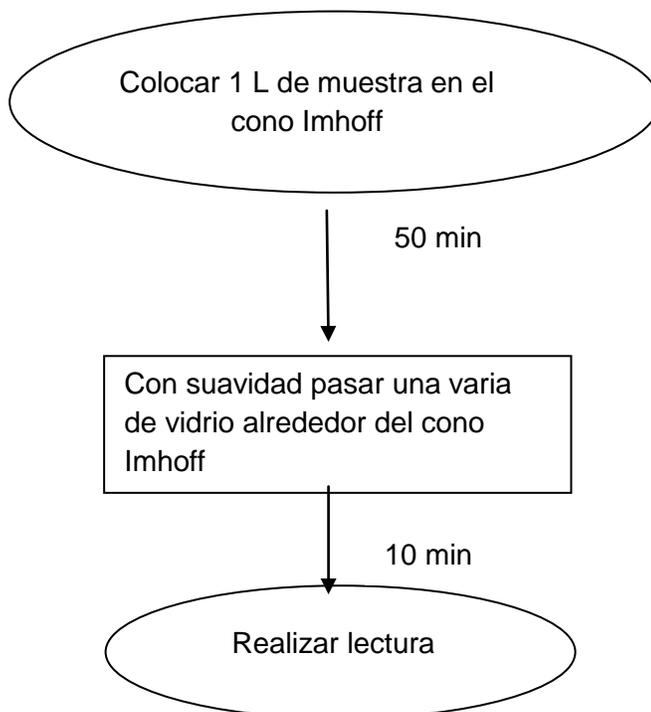
Fuente: HACH. (2004). *PROCEDURE MANUAL Spectrophotometer*. U.S.A: Editorial HACH

ANEXO 12
DETERMINACIÓN DE NITRATOS



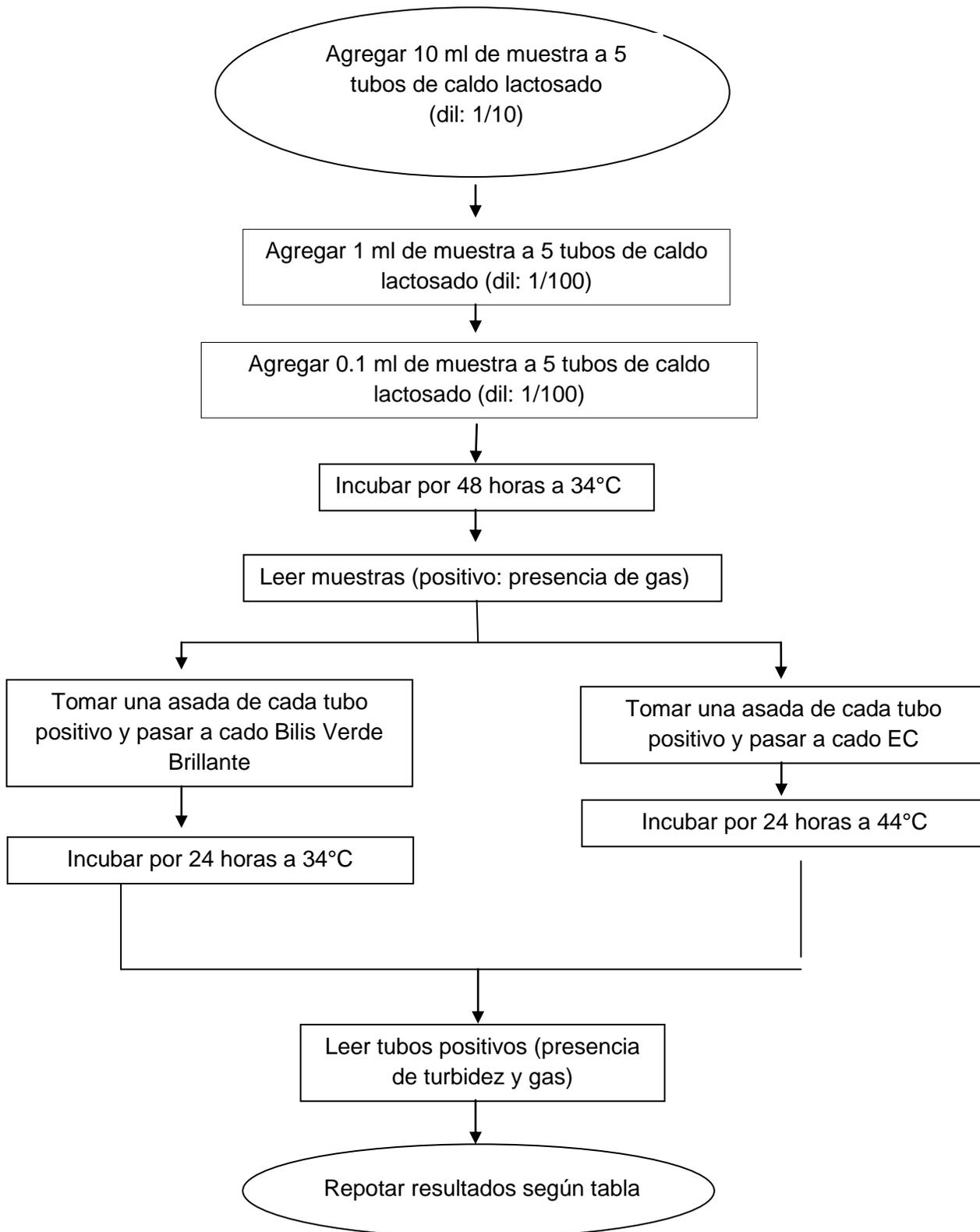
Fuente: HACH. (2004). *PROCEDURE MANUAL Spectrophotometer.U.S.A:* Editorial HACH

ANEXO 13
SOLIDOS SEDIMENTABLES



Fuente: Manual de Procedimientos EMPAGUA.

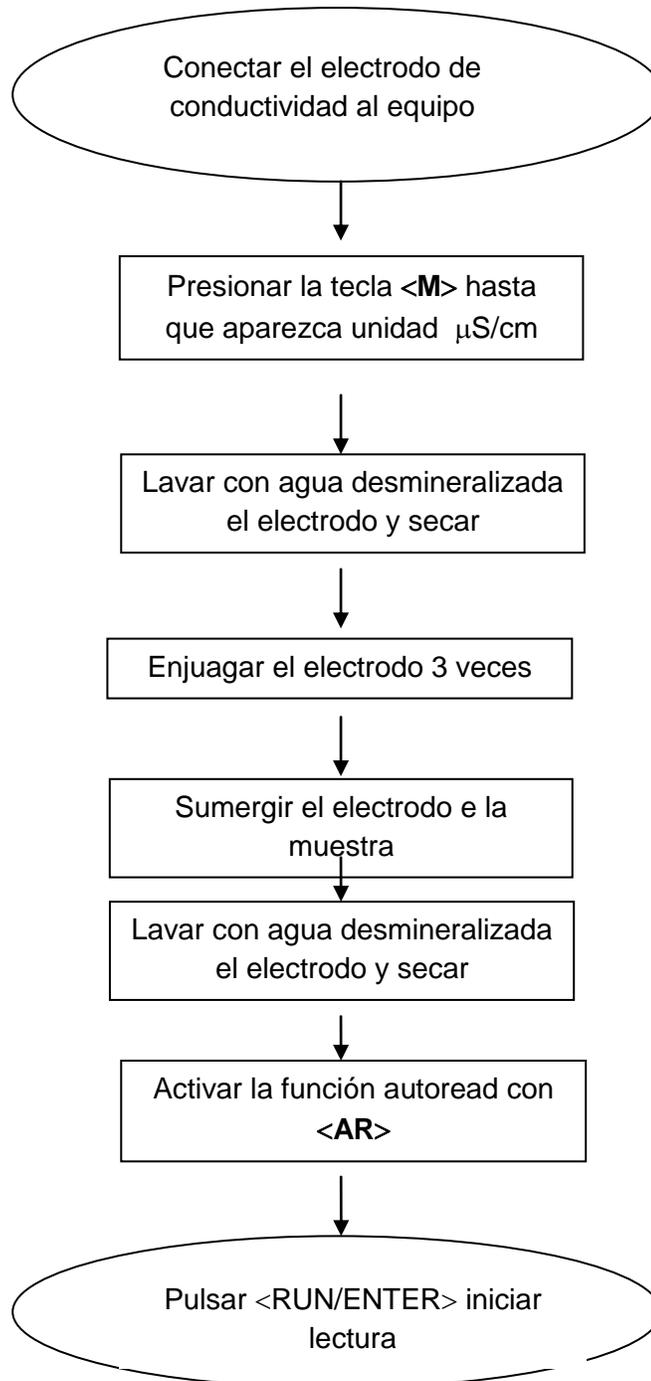
ANEXO 14
PROCEDIMIENTO MICROBIOLÓGICA DEL AGUA



Fuente: American Public Health Association, 2012.

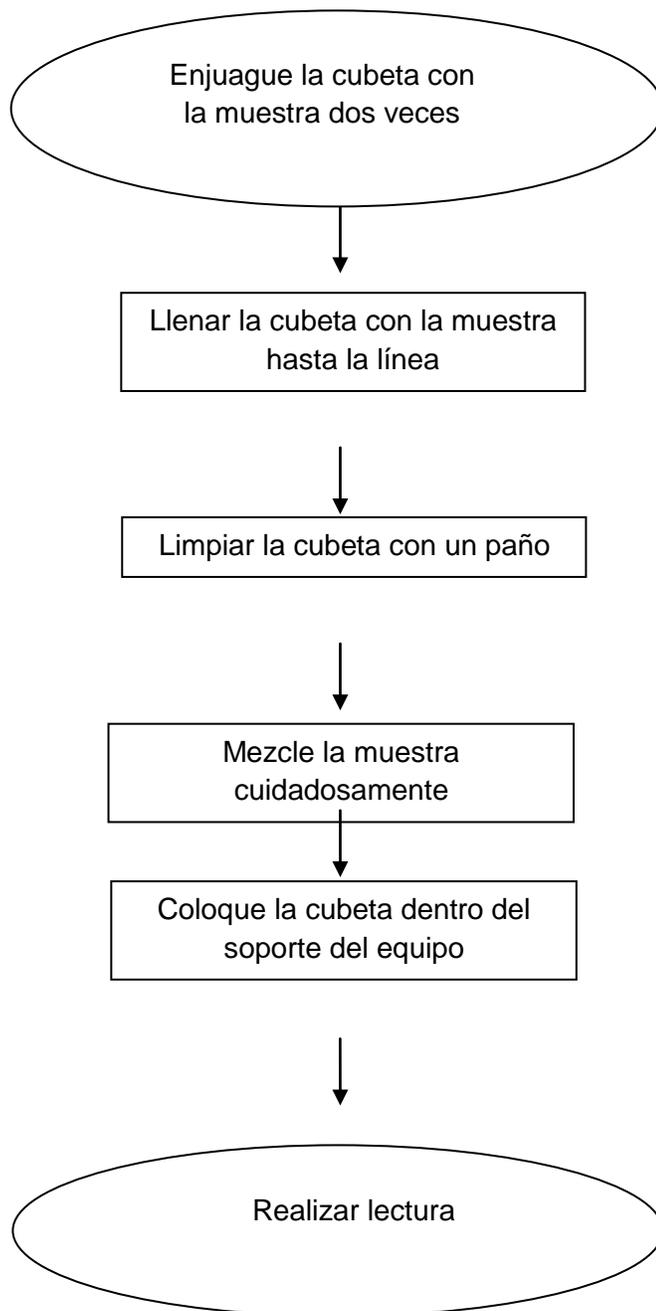
ANEXO 15

PROCEDIMIENTO DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD



Fuente: WTW Cond 330i. (2001). *Instrucciones de Operación Cond 330i*.

ANEXO 16 PROCEDIMIENTO DETERMINACION DE TURBIDEZ



Fuente: HACH. (2014). Manual del Usuario Hach 2100AN Turbidimeter . U.S.A: Editorial HACH

ANEXO 17

Aval de instancia oferente para la publicación de los resultados obtenidos en el seminario de investigación, los cuales pueden ser resultados parciales del proyecto macro de la instancia.



Muni Guate



Dirección de Sistemas de Drenajes y Alcantarillado

A QUIEN INTERESE:

Por medio de la presente, se autoriza la publicación y utilización de los análisis de datos de Laboratorio obtenidos de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de los Jardines Infantiles Municipales, conocidos como "Cedros y Rosas", ubicados en 12 Avenida "B" 10-65 zona 2 Colonia Ciudad Nueva. En la que EMPAGUA a través de la Dirección de Sistemas de Drenajes y Alcantarillado, opera y mantiene dicha planta.

Y para los usos que al interesado(a) convengan, firmo y sello en una hoja de papel membretado la presente autorización, a los dieciséis días del mes de julio del año dos mil dieciocho.

Atentamente,


Ing. Alicia Monzón de Rodríguez
Directora Sistemas de Drenajes y Alcantarillado



c. c. Archivo

muniguate.com
T. 1551
f t @

6ª. Avenida 1-27 zona 4 Edificio Mini
6º. Nivel Ala Norte
Teléfonos: 2390-3709 - 2390-3710

ANEXO 18

TABLA 9221: IV. MPN INDEX AND 95% CONFIDENCE LIMITS FOR VARIOUS COMBINATION OF POSITIVE RESULT WHEN FIVE TUBES ARE USED PER DILUTION

Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza		Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza	
				Inferior	Superior					Inferior	Superior
0	0	0	< 1.8	-	6.8	4	0	3	25	9.8	70
0	0	1	1.8	0.090	6.8	4	1	0	17	6.0	40
0	1	0	1.8	0.090	6.9	4	1	1	21	6.8	42
0	1	1	3.6	0.70	10	4	1	2	26	9.8	70
0	2	0	3.7	0.70	10	4	1	3	31	10	70
0	2	1	5.5	1.8	15	4	2	0	22	6.8	50
0	3	0	5.6	1.8	15	4	2	1	26	9.8	70
1	0	0	2.0	0.10	10	4	2	2	32	10	70
1	0	1	4.0	0.70	10	4	2	3	38	14	100
1	0	2	6.0	1.8	15	4	3	0	27	9.9	70
1	1	0	4.0	0.71	12	4	3	1	33	10	70
1	1	1	6.1	1.8	15	4	3	2	39	14	100
1	1	2	8.1	3.4	22	4	4	0	34	14	100
1	2	0	6.1	1.8	15	4	4	1	40	14	100
1	2	1	8.2	3.4	22	4	4	2	47	15	120
1	3	0	8.3	3.4	22	4	5	0	41	14	100
1	3	1	10	3.5	22	4	5	1	48	15	120
1	4	0	10	3.5	22	5	0	0	23	6.8	70
2	0	0	4.5	0.79	15	5	0	1	31	10	70
2	0	1	6.8	1.8	15	5	0	2	43	14	100
2	0	2	9.1	3.4	22	5	0	3	58	22	150
2	1	0	6.8	1.8	17	5	1	0	33	10	100
2	1	1	9.2	3.4	22	5	1	1	46	14	120
2	1	2	12	4.1	26	5	1	2	63	22	150
2	2	0	9.3	3.4	22	5	1	3	84	34	220
2	2	1	12	4.1	26	5	2	0	49	15	150
2	2	2	14	5.9	36	5	2	1	70	22	170
2	3	0	12	4.1	26	5	2	2	94	34	230
2	3	1	14	5.9	36	5	2	3	120	36	250
2	4	0	15	5.9	36	5	2	4	150	58	400
3	0	0	7.8	2.1	22	5	3	0	79	22	220
3	0	1	11	3.5	23	5	3	1	110	34	250
3	0	2	13	5.6	35	5	3	2	140	52	400
3	1	0	11	3.5	26	5	3	3	170	70	400
3	1	1	14	5.6	36	5	3	4	210	70	400
3	1	2	17	6.0	36	5	4	0	130	36	400
3	2	0	14	5.7	36	5	4	1	170	58	400
3	2	1	17	6.8	40	5	4	2	220	70	440
3	2	2	20	6.8	40	5	4	3	280	100	710
3	3	0	17	6.8	40	5	4	4	350	100	710
3	3	1	21	6.8	40	5	4	5	430	150	1100
3	3	2	24	9.8	70	5	5	0	240	70	710
3	4	0	21	6.8	40	5	5	1	350	100	1100
3	4	1	24	9.8	70	5	5	2	540	150	1700
3	5	0	25	9.8	70	5	5	3	920	220	2600
4	0	0	13	4.1	35	5	5	4	1600	400	4600
4	0	1	17	5.9	36	5	5	5	> 1600	700	-
4	0	2	21	6.8	40						

Fuente: American Public Health Association, 2012.

Marisol Samayoa Monzón
Autora

Mildred Desire Dubois Navas
Autora

Dra. Karin Herrera
Asesor

Lic. Sergio Lickes
Revisor

MSc. Alba Marina Valdés de García
Directora
Escuela Química Biológica

Dr, Rubén Dariel Velásquez Miranda
Decano
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia