



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**  
**RESIDUALES DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN PASAJE,**  
**PROVINCIA DE EL ORO, 2014-2015**

**AUTOR**

**EGDO. EDISON JAVIER VACACELA RAMÓN**

**TUTOR**

**DR. HUGO ROMERO BONILLA, MG. SC.**

**MACHALA - EL ORO - ECUADOR**

**2015**

## **CERTIFICACIÓN**

El presente trabajo de titulación **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN PASAJE, PROVINCIA DE EL ORO, 2014-2015”**, realizado por la autor Sr. Edison Javier Vacacela Ramón, egresado de la Carrera de Ingeniería Química, ha sido prolijamente dirigido y revisado, por lo tanto autorizo su presentación previo a la obtención del título de ingeniero Químico.

**DR. HUGO ROMERO BONILLA, MG. SC.**  
**TUTOR DE TESIS**

## CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA

Yo, **Edison Javier Vacacela Ramón**, con cedula de identidad 070518051-1, egresado de la carrera de Ingeniería Química, de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, de la Universidad Técnica de Machala, responsable del presente Trabajo de Titulación con el tema: “**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN PASAJE, PROVINCIA DE EL ORO, 2014-2015**”. Durante los meses de noviembre del 2014 hasta mayo del 2015, certifica que la responsabilidad de la investigación, resultados y conclusiones del presente trabajo pertenecen exclusivamente a mi autoría, una vez que ha sido aprobada por mi tribunal de sustentación de trabajo de titulación autorizando su presentación.

Deslindo a la Universidad Técnica de Machala de cualquier delito de plagio y cedo mis derechos de autor a la Universidad Técnica de Machala para que ella proceda a darle el uso que crea conveniente.

---

EDISON JAVIER VACACELA RAMON

C.I 070518051-1

## **RESPONSABILIDAD**

El presente trabajo de titulación **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN PASAJE, PROVINCIA DE EL ORO, 2014-2015”**, resultados, conclusiones y recomendaciones son de responsabilidad única y exclusiva del autor.

**Edison Javier Vacacela Ramón**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis va dedicada a mis padres, que con gran sacrificio supieron apoyarme, forjar en mí buenos valores, y nunca permitieron que me dé por vencido en las metas que me he propuesto.

A Dios porque sin su ayuda no hubiera podido alcanzar las metas que me he propuesto.

A toda mi familia y amigos por estar pendientes de mí y siempre apoyarme en todo lo que me he propuesto en la vida.

**Edison Javier Vacacela Ramón**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme culminar con éxitos mi vida universitaria.

A mis padres Sra. María Ramón y Sr. José Vacacela, quienes con mucho sacrificio siempre me apoyaron para cumplir las metas que me he propuesto en la vida.

A mis familiares que siempre supieron apoyarme en todo.

A mis amigos por siempre darme esas palabras de apoyo, no permitir que me diera por vencido y estar pendientes de que alcance mis metas.

A la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud en la cual me formé profesionalmente, agradezco a vuestros profesores por darnos el conocimiento para poder ejercer esta gran carrera universitaria, agradecimientos especiales para mi tutor Dr. Hugo Romero Bonilla y al Ing. Humberto Ayala Armijos que a más de ser mis profesores son mis grandes amigos quienes siempre estuvieron guiándome para que pueda realizar y culminar con éxito este trabajo de titulación.

## **EL AUTOR**

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN .....	ii
CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA .....	iii
RESPONSABILIDAD .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
GLOSARIO .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. VARIABLES.....	5
1.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	5
1.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	5
1.5. HIPÓTESIS .....	5
2. AGUAS RESIDUALES .....	7
2.1. CLASIFICACIÓN DEL AGUA RESIDUAL .....	7
2.1.1. Agua Residual Doméstica (ARD) .....	7
2.1.2. Aguas Negras.....	7
2.1.3. Aguas Grises.....	8
2.1.4. Agua Residual Urbana o Municipal (ARU).....	8
2.1.5. Agua Residual Industrial (ARI) .....	8
2.2. COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL .....	8
2.2.1. Composición física .....	8
2.2.1.1. Color.....	8
2.2.1.2. Olor .....	9
2.2.1.3. Temperatura .....	9
2.2.1.4. Conductividad.....	9
2.2.1.5. Sólidos.....	9

2.2.2.	Composición química .....	10
2.2.2.1.	Materia orgánica.....	10
a.	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5).....	10
b.	Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	10
2.2.2.2.	Materia inorgánica .....	11
a.	pH .....	11
b.	Nitrógeno.....	11
c.	Azufre .....	11
2.2.2.3.	Gases .....	11
a.	Oxígeno disuelto .....	11
2.2.3.	Composición biológica.....	12
2.2.3.1.	Bacterias .....	12
2.2.3.2.	Virus .....	12
2.2.3.3.	Algas .....	13
2.2.3.4.	Protozoos.....	13
2.2.3.5.	Hongos.....	13
2.3.	TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL .....	13
2.3.1.	ETAPAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL .....	14
2.3.1.1.	Pre-tratamiento .....	16
a.	Desbaste.....	17
b.	Desarenado.....	18
c.	Desengrasado .....	19
2.3.1.2.	Tratamiento primario.....	21
a.	Sedimentación .....	22
1)	Tipos de clarificación del agua por sedimentación .....	22
2)	Clasificación de sedimentadores.....	23
i.	Sedimentadores rectangulares .....	24
ii.	Sedimentadores circulares.....	25
iii.	Sedimentadores lamelares.....	25
2.3.1.3.	Tratamiento secundario.....	25
a.	Sistema de lodos activos .....	27
b.	Sistema de filtro percolador .....	28
c.	Sistema de biodiscos .....	29
d.	Sistema de lecho de lodos.....	30



e.	<b>Sistema de lagunas de estabilización</b>	31
i.	<b>Lagunas anaerobias</b>	32
ii.	<b>Lagunas facultativas</b>	32
iii.	<b>Lagunas aerobias</b>	33
2.3.1.4.	<b>Tratamiento terciario</b>	33
a.	<b>Filtración</b>	33
b.	<b>Adsorción</b>	34
c.	<b>Desinfección</b>	34
2.4.	<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN PASAJE</b>	34
3.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>37</b>
3.1.	<b>METODOLOGÍA</b>	37
3.1.1.	<b>Tipo de investigación</b>	37
3.1.2.	<b>Diseño de investigación</b>	37
3.2.	<b>MÉTODOS DE ANÁLISIS</b>	38
3.2.1.	<b>TÉCNICAS ANALÍTICAS</b>	38
3.2.1.1.	<b>Nitratos: Método de reducción de cadmio.</b>	38
3.2.1.2.	<b>Nitritos: Método diazotación.</b>	39
3.2.1.3.	<b>Sulfatos: Método turbidimétrico.</b>	39
3.2.1.4.	<b>Hierro: Método Fenantrolina</b>	39
3.2.1.5.	<b>DQO: Método de digestión del reactor</b>	39
3.2.1.6.	<b>Medición de pH y oxígeno disuelto</b>	40
3.2.1.7.	<b>Medición de caudal</b>	40
3.2.1.8.	<b>Medición de DBO<sub>5</sub></b>	40
3.2.2.	<b>EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE</b>	41
3.3.	<b>MATERIALES</b>	41
3.3.1.	<b>UBICACIÓN</b>	41
3.3.2.	<b>UNIVERSO Y MUESTRA</b>	41
3.3.3.	<b>RECURSOS EMPLEADOS</b>	42
3.3.3.1.	<b>RECURSOS HUMANOS</b>	42
3.3.3.2.	<b>RECURSOS FÍSICOS</b>	42
4.	<b>RESULTADOS</b>	<b>44</b>
4.1.	<b>CUANTIFICACIÓN DE NITRATOS</b>	44
4.2.	<b>CUANTIFICACIÓN DE NITRITOS</b>	46
4.3.	<b>CUANTIFICACIÓN DE SULFATOS</b>	48

4.4.	CUANTIFICACIÓN DE HIERRO .....	50
4.5.	CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O.)... ..	52
4.6.	CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO.....	54
4.7.	CUANTIFICACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO .....	55
4.8.	CUANTIFICACIÓN DE LA DBO <sub>5</sub> .....	58
4.9.	CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA .....	60
4.10.	NORMAS TULSMA .....	62
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	66
6.	CONCLUSIONES.....	67
7.	RECOMENDACIONES .....	68
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>71</b>
	<b>Anexo 1.</b> Autorización del GAD Municipal del cantón Pasaje para realizar el proyecto. ....	72
	<b>Anexo 2.</b> Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI. Anexo 1. P 30. Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. ....	73
	<b>Anexo 3.</b> Mapa del cantón Pasaje subdividida en zonas de trabajo.....	75
	<b>Anexo 5.</b> Ficha técnica multímetro HQ40D HACH.....	79
	<b>Anexo 6.</b> Ficha técnica reactivo NitraVer5. ....	82
	<b>Anexo 7.</b> Ficha técnica reactivo NitriVer3.....	83
	<b>Anexo 8.</b> Ficha técnica reactivo SulfaVer4.....	84
	<b>Anexo 9.</b> Ficha técnica reactivo FerroVer. ....	85
	<b>Anexo 10.</b> Ficha técnica conjunto de reactivos TNT823 UHR.....	86
	<b>Anexo 11.</b> Laguna de oxidación estancada de sedimentos. ....	87
	<b>Anexo 12.</b> Laguna de oxidación cubierta su superficie de lechuguines. ....	87
	<b>Anexo 13.</b> Agua residual usada para el riego de una bananera.....	88
	<b>Anexo 14.</b> Parte del canal recolector de aguas residuales cubierto su superficie con lechuguines. ....	89

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje. El método usado para el tratamiento de las aguas residuales es el sistema de lagunas de oxidación, en el cual se establecieron dos puntos de muestreo que fueron: a la entrada del sistema (afluente) y a la salida del sistema (efluente). La evaluación se la realizó en dos procesos batch de 15 días cada uno, en los cuales se procedió a tomar una muestra diaria en los puntos de muestreo en diferentes horarios para evaluar la eficiencia del tratamiento y verificar si los parámetros están dentro de los límites máximos permisibles en las normas ambientales vigentes en nuestro país para descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce (Anexo 2). Los parámetros estudiados fueron: nitritos, nitratos, sulfatos, hierro, DQO, oxígeno disuelto y pH. La eficiencia del tratamiento se la comprobó de manera individual a todos los parámetros estudiados, siendo el parámetro más importante la Demanda Química de Oxígeno (DQO); el resultado es: % remoción de DQO < 50%. A pesar de que el sistema se encuentre trabajando a la mitad de su eficiencia, los parámetros estudiados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, esto se debe a que la concentración del afluente no es muy elevada, debido a que las aguas residuales son solo domésticas y no contienen aguas residuales industriales, que son mucho más contaminantes y peligrosas dependiendo del tipo de industria.

**Palabras clave:** DQO, nitratos, nitritos, límites máximos permisibles, eficiencia.

## ABSTRACT

This research aims to evaluate the system of wastewater treatment in the Southern sector of the City of Pasaje. The method used for the treatment of wastewater is the oxidation ponds system, in which two sampling points were established: a system input (affluent) and the system output (effluent). The evaluation was performed by two batch processes 15 days each, in which we proceeded to take a daily sample to the sampling points at different times to evaluate the efficiency of treatment and check if parameters are within allowable ranges environmental standards in our country for discharge of effluents to freshwater body (Table 12. Rules TULSMA: water resource). The parameters studied were: nitrites, nitrates, sulfates, iron, COD, dissolved oxygen and PH. The efficiency of treatment is individually checked all parameters studied, being the most important parameter Chemical Oxygen Demand (COD); the result is: % removal COD <50%. Although the system is working at half its efficiency, the parameters studied are within the maximum permissible limits, this is because the affluent concentration is not very high, because wastewater is only domestic and industrial wastewater do not contain, which are much more polluting and dangerous depending on the type of industry.

**Keywords:** COD, nitrates, nitrites, maximum permissible limits, efficiency.

## GLOSARIO

**Biomasa:** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

**Cloraminas:** Son un tipo de aminas orgánicas que se producen cuando el amoníaco y el cloro (en forma de ácido hipocloroso) reaccionan entre sí.

**Clorina:** Gas amarillo-verdoso con un olor desagradable muy penetrante, se utiliza en purificación de agua, en blanqueamiento de textiles, papel y pulpa, en manufactura de desinfectantes, plásticos, solventes, hidrocarburos clorados, etc.

**Degradación:** Transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla.

**Disruptores endocrinos:** Son sustancias químicas capaces de alterar el sistema hormonal, tanto en seres humanos como en animales, responsable de múltiples funciones vitales como el crecimiento o al desarrollo sexual.

**Flóculos:** Grumo que aparece en una floculación.

**Heterotrófico:** Se dice de las propiedades y procesos de los organismos heterótrofos considerados como tales.

**Heterótrofos:** Dicho de un organismo: Incapaz de elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas, por lo que debe nutrirse de otros seres vivos.

**Putrescibles:** Que se pudre o puede pudrirse fácilmente

## 1. INTRODUCCIÓN

Al agua residual se la puede definir como la combinación de los residuos líquidos procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas superficiales y pluviales. En la medida en que se vaya presentando acumulación y estancamiento del agua residual pueden generarse gases de mal olor debido a la descomposición orgánica que ésta posee; además es importante anotar que en el agua residual hay existencia de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar en ciertos residuos industriales. Se debe destacar que las aguas residuales también poseen nutrientes que en gran parte ayudan al crecimiento de plantas.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua. Existen varios métodos para el tratamiento de las aguas residuales desde lagunas de oxidación hasta plantas tecnificadas para la remoción completa de los contaminantes, al escoger el método a utilizar se debe tomar en cuenta los costos de implementación y de mantenimiento del proceso, esto hace que la mayoría de pequeños municipios opten por implementar el método de lagunas de oxidación por su bajo costo y mantenimiento.

La contaminación ambiental es una problemática a nivel mundial que se la viene tratando desde hace muchos años en todo el mundo y en nuestro país no es la excepción, debido a que nuestra geografía es inmensamente rica en cuencas hidrográficas. Las fuentes de contaminación son las industrias y el crecimiento poblacional lo que provoca que cada vez se utilicen métodos más eficientes para el tratamiento de las aguas servidas, en los lugares donde ya tienen funcionando sus métodos se deben realizar una evaluación para ver si cumplen con los parámetros ambientales vigentes que cada vez son más rigurosos con sus rangos permisibles, debido a que si no cumplen con dichos rangos la contaminación que producen las aguas de descarga en las aguas

dulces provocan que estas aguas no puedan ser utilizadas para ningún tipo de consumo.

Este proyecto de investigación está enmarcado a evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales que provienen de la zona sur del cantón Pasaje el cual se lo va a realizar de la siguiente manera: se reconocerá el método utilizado, se procederá a identificar las zonas de muestreo para luego realizar análisis físicos-químicos para verificar si el tratamiento es eficiente y cumple con los parámetros establecidos en la normas del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental de las cuencas hidrográficas es un problema evidente en todo el mundo y nuestro país no es la excepción por la gran cantidad de fuentes de agua existentes. La industrialización y el desarrollo de las ciudades son los factores más contaminantes en nuestro medio.

En una población el consumo de agua es directamente proporcional a la cantidad de habitantes de dicha población, eso quiere decir que si la población aumenta el consumo de agua aumentará pero ¿Qué hacemos para tratar esas aguas servidas? Existen muchos métodos para el tratamiento de estas aguas, uno de ellos son las lagunas de oxidación, el cual es uno de los métodos más usados en nuestro país por su bajo costo y el método sencillo para construir las y mantenerlas. Las lagunas de oxidación son también una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación de agua si se mantienen y operan correctamente. Un mal manejo de este sistema puede provocar que la descarga del efluente en la cuenca de agua provoque la contaminación de la misma y esa agua no puede ser utilizada.

El problema en el sistema de tratamiento del sector sur del cantón Pasaje es evidente debido a los malos olores que emana, esto ha provocado que se convierta en foco infeccioso debido a que a pocos metros se encuentra ubicada una urbanización de interés social conocida con el nombre de El Deportista donde viven decenas de familias que se quejan del mal funcionamiento del sistema, de comprobarse esto en el presente estudio, se estaría también contaminando el río Motuche, lugar en el cual se realiza la descarga del efluente, cuyas aguas se utilizan para riego de diferentes bananeras ubicadas por el sector.



## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo de investigación va a ayudar con el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales previniendo que, con la descarga del efluente se contamine el cuerpo de agua dulce o cuerpo receptor. Al evaluar el sistema de tratamiento, vamos a conocer la eficiencia con el cual trabaja el sistema y si la descarga del efluente cumple con los parámetros establecidos en las normas ambientales vigentes en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

En el caso que los resultados de los parámetros estudiados estén fuera de rango, se procederá a recomendar medidas correctoras para que el GAD Municipal del cantón Pasaje mejore el proceso de tratamiento del agua residual y evitar que el cuerpo receptor se contamine y sus aguas no puedan ser utilizadas.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje, provincia de El Oro, 2014-2015.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar el tipo de tratamiento utilizado.
- Establecer las estaciones de muestreo y su frecuencia.
- Identificar los parámetros físicos y químicos en las aguas residuales.
- Comparar si los resultados de los análisis físicos-químicos se encuentran dentro de los rangos permisibles de los parámetros ambientales vigentes en el TULSMA para descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce.
- Establecer la eficiencia del sistema de tratamiento.

### **1.4. VARIABLES**

#### **1.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.

#### **1.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Rango de depuración del agua residual.

### **1.5. HIPÓTESIS**

El sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje estará cumpliendo con los rangos permisibles de los parámetros ambientales vigentes en las normas TULSMA.

## **2. AGUAS RESIDUALES**

Se puede definir como agua residual a aquella que procede del empleo de un agua natural o de la red en un uso determinado. (Osorio F, 2001).

También se la puede definir como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original. (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente).

Por lo anteriormente anotado se puede definir al agua residual como aquella agua que ha sufrido cambios en su composición natural causados por el uso que se le ha dado a la misma.

### **2.1. CLASIFICACIÓN DEL AGUA RESIDUAL**

El agua residual se puede clasificar en: agua residual doméstica (ARD), agua residual urbana o municipal (ARU) y en agua residual industrial (ARI).

#### **2.1.1. Agua Residual Doméstica (ARD)**

Residuos líquidos de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales. Estas, además, se pueden subdividir en: aguas negras y aguas grises. (Lozano-Rivas, 2012).

#### **2.1.2. Aguas Negras**

Aguas que transportan heces y orina, provenientes del inodoro. (Lozano-Rivas, 2012).

### **2.1.3. Aguas Grises**

Aguas jabonosas que pueden contener grasas también, provenientes de la ducha, tina, lavamanos, lavaplatos, lavadero y lavadora. (Lozano-Rivas, 2012).

### **2.1.4. Agua Residual Urbana o Municipal (ARU)**

Residuos líquidos de un conglomerado urbano; incluye actividades domésticas e industriales y son transportadas por una red de alcantarillado. (Lozano-Rivas, 2012).

### **2.1.5. Agua Residual Industrial (ARI)**

Residuos líquidos provenientes de procesos productivos industriales, que incluso pueden tener origen agrícola o pecuario. (Lozano-Rivas, 2012).

## **2.2. COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL**

Los constituyentes que se encuentran en las aguas residuales se clasifican en: físicos, químicos y biológicos.

### **2.2.1. Composición física**

Vamos a considerar las siguientes: color, olor, temperatura, conductividad y sólidos.

#### **2.2.1.1. Color**

Varía en función del tiempo que transcurre desde que se genera hasta que llega al lugar de tratamiento o vertido (sin tratamiento) al medio receptor. Varía entre el tono beige claro (recién producida), a grisácea en función de las condiciones de septicidad que se dan en ellas (reducción o desaparición del oxígeno en el agua residual). (Ríos, 2013).

### **2.2.1.2. Olor**

El agua residual “normal” no presenta olores, se producirán si la distancia entre el lugar de generación y el de tratamiento o vertido (sin tratamiento) es elevada, provocándose la disminución de oxígeno en el agua que da lugar a olores más o menos intensos. (Ríos, 2013).

### **2.2.1.3. Temperatura**

Suele ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas. Oscila entre 10°C y 21°C, con un valor medio de 15°C, aproximadamente. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.

También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura. (Espigares, 1985).

### **2.2.1.4. Conductividad**

Indica la presencia de sales disueltas e impurezas, (Ríos, 2013).

### **2.2.1.5. Sólidos**

Se nos presentan de varias formas en el agua:

- Como materia sólida flotando: fragmentos de papel, cartón, plástico, madera, heces, etc., que serán retiradas de las aguas y no se cuantificarán.
- Sólidos en suspensión: son partículas que tienen un tamaño superior a 0,45 micras, que no pasarán por un filtro de 0,45 micras de poro. Por ejemplo: arena, limo, arcilla, diferentes microorganismos, etc.
- Sólidos disueltos: aquellos que pasarán a través del filtro. (Ríos, 2013).

## **2.2.2. Composición química**

Distinguiremos entre los compuestos orgánicos, inorgánicos y los gases presentes en el agua residual.

### **2.2.2.1. Materia orgánica**

Los principales compuestos que se pueden hallar: proteínas (40-60 %), carbohidratos (25-50 %), grasas y aceites (10 %). (Espigares, 1985).

Para medir de forma general el contenido de materia orgánica presente en un agua residual se utilizan los siguientes parámetros habitualmente: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) y La Demanda Química de Oxígeno (DQO). (Ríos, 2013).

#### **a. Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5)**

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 ó 3 días a 20°C por lo que se expresa como DBO o DBO5, respectivamente. (Espigares, 1985).

#### **b. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Representa la cantidad de oxígeno consumido al oxidar químicamente las sustancias orgánicas y algunas inorgánicas (biodegradables y no biodegradables) que están presentes en el agua residual, sin intervención de los microorganismos (vía química). El ensayo se realiza con una sustancia fuertemente oxidante como es el dicromato potásico en caliente. (Ríos, 2013).

### **2.2.2.2. Materia inorgánica**

Los componentes inorgánicos de mayor interés en este estudio son: pH, cloruros, nitrógeno (nitritos y nitratos), azufre (sulfatos) y gases (oxígeno disuelto).

#### **a. pH**

Los valores recomendables del pH para no interferir en los procesos biológicos de depuración son entre 6,5 y 8,5. (Ríos, 2013).

#### **b. Nitrógeno**

Este elemento se presenta como nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos y nitratos, que pueden pasar de unos a otros mediante el proceso de nitrificación. (Mendoza, 1998).

#### **c. Azufre**

El ion sulfato está presente en la mayoría de aguas residuales. El azufre se requiere para la síntesis de proteínas y se libera con su degradación. (Orozco, 2005).

### **2.2.2.3. Gases**

El más importante es el oxígeno disuelto.

#### **a. Oxígeno disuelto**

Es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento.



La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua. Por ello, sus niveles son indicativos del nivel de calidad de las aguas. (Espigares, 1985).

### **2.2.3. Composición biológica**

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse. (Espigares, 1985).

Los principales grupos de organismos que se pueden encontrar son: bacterias, virus, algas, protozoos y hongos.

#### **2.2.3.1. Bacterias**

Pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento. En las aguas residuales brutas, predominan las especies pertenecientes a los siguientes grupos: Escherichia, Salmonella, estreptococos fecales, Proteus, Pseudomonas, Aeromonas, Serratia, Bifidobacterium, Clostridium, Zooglea, Flavohacterium, Nocardia, Achromobacter, Alcaligenes, Mycohacterium, Nitrosomonas, Nitrobacter, etc. (Espigares, 1985).

#### **2.2.3.2. Virus**

Proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales. Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus. (Espigares, 1985).

### **2.2.3.3. Algas**

Su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno está producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*, *Ulothrix*, *Chlorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc. (Espigares, 1985).

### **2.2.3.4. Protozoos**

Los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez. (Espigares, 1985).

### **2.2.3.5. Hongos**

La mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales. Los géneros que pueden encontrarse son: *Geotrichium*, *Mucor*, *Aureobasidium*, *Subbaromyces*, *Fusarium*, *Sepedonium* y *Sphaerotilus*. (Espigares, 1985).

## **2.3. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**

Toda agua que haya sido utilizada debe ser tratada para evitar que las demás personas se vean afectadas en su salud y se cuide el agua que es fuente de toda la vida en el planeta. Se debe conocer la composición del agua a ser tratada para que el proceso sea eficiente.

Los sistemas de tratamiento resultan de la combinación de procesos y operaciones unitarias en los que se pueden diferenciar distintos niveles para las aguas residuales, dependiendo de los objetivos que se deseen cumplir. (Morató, y otros, 2014)

### 2.3.1. ETAPAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Las etapas existentes para el tratamiento de aguas residuales son: tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado. (Ramalho, 1996).

Con el paso del tiempo, algunos expertos señalan que se debe hacer un pre-tratamiento antes de pasar a los tratamientos principales y así evitar complicaciones posteriores. Por lo anteriormente anotado en el cuadro N. 1 se puede apreciar las etapas de tratamiento del agua residual donde se incluye el pre-tratamiento, cada etapa con una pequeña descripción de su función.

Tabla N. 1. Etapas de tratamiento del agua residual.

<b>Etapas</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Unidades más representativas</b>	<b>Tipo de fenómenos principales involucrados</b>	<b>Niveles de eficiencia</b>
Pretratamiento	Remover sólidos gruesos para evitar atascos, abrasión y daños a tuberías, bombas, equipos y a	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Pozo de gruesos</li> <li>· Rejillas</li> <li>· Desarenador</li> <li>· Desengrasador</li> <li>· Tanque de Igualación u homogenización (efluentes industriales,</li> </ul>	Físicos. Químicos (neutralización).	No se considera que se logren remociones significativas en DBO y SST.

	otros elementos de la depuradora.	especialmente) · Tanque de neutralización (efluentes industriales, especialmente)		
Tratamiento Primario	Remover la mayor parte de la materia orgánica suspendida decantable.	· Decantadores primarios (por gravedad o asistidos químicamente) · DAF (unidades de flotación por aire disuelto, usadas para efluentes industriales, especialmente) · Tamices (efluentes industriales, especialmente)	Físicos. Químicos (decantación asistida).	DBO: hasta 50% (hasta 80% con decantación asistida) SST: hasta 70% (hasta 85% con decantación asistida)
Tratamiento Secundario	Remover materia orgánica soluble y suspendida. Eliminar patógenos y otros elementos contaminantes.	· Reactores biológicos aerobios (e.g. lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, humedales, lagunas) · Reactores biológicos	Biológicos.	DBO: hasta un 92% SST: hasta un 90 %

		anaerobios (e.g. UASB, RAP, EGSB)		
Tratamiento Terciario	Pulimento en la reducción de la materia orgánica. Eliminación de contaminantes específicos (e.g. nitratos, patógenos, metales, pesticidas, disruptores endocrinos).	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Coagulación-floculación</li> <li>· Adsorción</li> <li>· Intercambio iónico</li> <li>· Filtración</li> <li>· Lagunas</li> <li>· Desinfección</li> </ul>	Químicos. Biológicos.	Eficiencias variables de remoción, dependiendo del tipo de contaminación

Fuente: (Lozano-Rivas, 2012).

### 2.3.1.1. Pre-tratamiento

El pre-tratamiento se realiza por medio de procesos físicos y/o mecánicos dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción de materiales extraños presentes en el agua a tratar y eviten interferencias en los procesos de tratamiento posteriores. (Valencia, 2013)

Entre los procesos de pre-tratamiento en las aguas residuales tenemos el desbaste, el desarenado y el desengrasado.

### a. Desbaste

El desbaste se lo realiza mediante rejas, es una operación sencilla pero llamativa, ya que en ella, se retienen los sólidos de gran tamaño. Estos sólidos son una verdadera muestra de la actividad que se ha realizado en la población unas horas antes pues, en su mayoría, proceden de los restos que se arrojan por los inodoros y los fregaderos urbanos. Así, encontramos desde restos de comida hasta pelos, plásticos, trozos de cristales, etc. (Silva, 2004)

De acuerdo con la separación entre los barrotes, pueden clasificarse en:

- **Desbaste de gruesos:** el paso libre entre los barrotes es de 50 a 100 mm.
- **Desbaste de finos:** el paso libre entre los barrotes es de 10 a 25 mm.

En función de su geometría, las rejas pueden ser rectas o curvas y, según como se ejecute la extracción de los residuos retenidos en los barrotes, se distingue entre rejas de limpieza manual (Figura N.1) y rejas de limpieza automática (Figura N.2). (Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Figura N.1. Desbaste de gruesos seguido de desbaste de finos, empleando rejas rectas de limpieza manual.



Fuente: (Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Figura N.2. Reja curva de accionamiento automático.



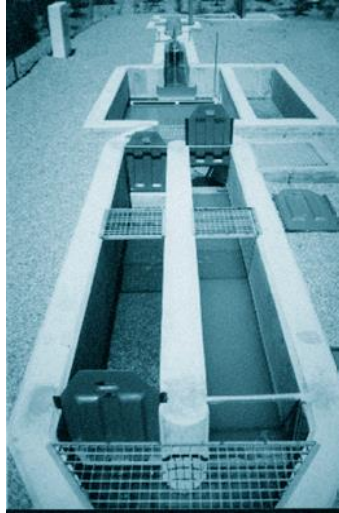
Fuente: (Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

### **b. Desarenado**

El proceso de desarenado se utiliza para separar la arena arrastrada en suspensión por el afluente. En el tratamiento de aguas residuales se catalogan como arenas aquellas sustancias sólidas densas formadas por gravas, arenas, cenizas y otros materiales (diámetro  $\geq 2.2$  mm y peso específico  $\geq 1.5$  g/ml), no putrescibles y con una velocidad de sedimentación notablemente superior a la de los sólidos orgánicos putrescibles. La densidad media de este tipo de materiales se encuentra en torno a 1600 Kg/m<sup>3</sup>.

El tipo de desarenador, según el procedimiento utilizado en la separación, más común es el de flujo horizontal, que realiza una separación natural por decantación. (Silva, 2004)

Figura N.3. Desarenador de doble canal.



Fuente: (Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

### c. Desengrasado

En esta etapa se eliminan las grasas y demás materias flotantes más ligeras que el agua. Dentro de los desengrasadores se distingue entre los desengrasadores estáticos y los aireados. En los desengrasadores estáticos (Figura N.4) se hacen pasar las aguas a través de un depósito dotado de un tabique, que obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo, lo que permite que los componentes de menor densidad que el agua, queden retenidos en la superficie. La retirada de las grasas se lleva a cabo de forma manual, haciendo uso de un recoge hojas de piscina. En los desengrasadores aireados (Figura N.5) se inyecta aire con objeto de desemulsionar las grasas y lograr una mejor flotación de las mismas. (Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Figura N.4. Desengrasador estático.





Fuente: (Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Figura N.5. Desarenador-desengrasador aireado.



Fuente: (Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

### **2.3.1.2. Tratamiento primario**

El objetivo fundamental del tratamiento primario es la eliminación del material coloidal o en suspensión del agua residual. La separación por gravedad constituye una de las operaciones unitarias más ampliamente usadas. (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Generalmente el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de sólidos suspendidos y entre el 30% y 40% de DBO. (Romero, 2008)

Algunas características del tratamiento primario son (Marín & Osés, 2013):

- El tratamiento primario no es obligatorio en una planta municipal.
- El tratamiento primario más utilizado en los tratamientos municipales es la sedimentación simple.
- El tratamiento primario reduce el esfuerzo de tratamiento en los procesos posteriores (tratamiento secundario).
- Los residuos producidos (lodos primarios) no se encuentran estabilizados, producen olores desagradables y atraen moscas y otros vectores de enfermedades. Necesitan procesarse antes de su disposición final.

- La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales, son de naturaleza pegajosa y flocculan en forma natural.
- Las operaciones de sedimentación primaria son esencialmente del tipo 2, sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y floculación.

### a. Sedimentación

La sedimentación es remover rápidamente los residuos sólidos sedimentables y material flotante para así disminuir la concentración de sólidos suspendidos, se pueden llegar a remover entre un 50% y 70% de sólidos suspendidos y entre el 25% y 40% de DBO. Las estructuras donde se lleva a cabo la sedimentación son los llamados sedimentadores, los cuales son depósitos o tanques que dependiendo de su forma pueden ser rectangulares o circulares, normalmente en un sistema de tratamiento se contempla la construcción de dos sedimentadores, pues es importante en el caso de que durante trabajos de reparación y mantenimiento sea posible garantizar la continuidad del tratamiento. (Martín, 2008)

#### 1) Tipos de clarificación del agua por sedimentación

La sedimentación comprende un grupo de acciones diferentes según el tipo de concentración de sólidos en suspensión que posee el agua a tratar, es por ello que el proceso de sedimentación se usa para diferentes propósitos. (Valencia, 2013)

Tabla N.2. Tipos de clarificación del agua por sedimentación.

TIPO	FUNDAMENTO
<b>Sedimentación primaria o tipo 1</b>	Remueve sólidos sedimentables y material flotante reduciendo el contenido de sólidos suspendidos. Las partículas en suspensión son idealizadas como partículas discretas, es decir, no cambian de densidad, tamaño o forma al descender en el líquido.

<b>Sedimentación intermedia o tipo 2</b>	Remueve sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios. En este caso las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño, se adhieren entre sí cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída.
<b>Sedimentación secundaria o tipo 3</b>	Remueve la biomasa y sólidos en suspensión de reactores biológicos secundarios. Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables y formando un manto de lodos que flota en el líquido.
<b>Sedimentación terciaria o tipo 4</b>	Remueve sólidos suspendidos y floculados, o precipitados químicos. Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo. Se da en soluciones de alta concentración y forma un manto de lodos igual que el proceso anterior.

Fuente: (Arboleda, 2000)

## 2) Clasificación de sedimentadores

Básicamente existen tres tipos de tanques de sedimentación clasificados según el sentido del flujo, el tipo de clarificación que se genera y el uso al que son destinados en las unidades de decantación. (Valencia, 2013)

Tabla N.3. Clasificación de los tanques de sedimentación.

<b>Sentido del flujo</b>	<b>Tipo de sedimentación</b>	<b>Carga superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)</b>	<b>Ejemplo</b>
<b>Flujo Horizontal</b>	1 y 2	200-420 15-30	Desarenadores
<b>Flujo Vertical</b>	2 y 3	45-60	Manto de lodos
<b>Flujo ascensional</b>	1 y 2	120-180	Decantadores con módulos o placas

Fuente: (Arboleda, 2000)

La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.). (Rodríguez, y otros, 2006)

Figura N. 6. Sedimentador de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales, Brasil.



Figura N. 7. Sedimentador de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales Cerro de la Estrella, México.



#### **i. Sedimentadores rectangulares**

La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas). Este tipo de sedimentación se denomina discreta, dado que las partículas no varían sus

propiedades físicas a lo largo del desplazamiento hacia el fondo del sedimentador (Figura N. 7). Suelen ser equipos poco profundos, dado que, al menos teóricamente, este parámetro no influye en la eficacia de la separación, siendo el principal parámetro el área horizontal del mismo. (Rodríguez, y otros, 2006)

## **ii. Sedimentadores circulares**

Son más habituales. En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador (Figura N. 6). Esta forma de operar es adecuada cuando la sedimentación va acompañada de una floculación de las partículas, en las que el tamaño de flóculo aumenta al descender las partículas, y por lo tanto aumenta su velocidad de sedimentación. (Rodríguez, y otros, 2006)

## **iii. Sedimentadores lamelares**

Han surgido como alternativa a los sedimentadores poco profundos, al conseguirse una mayor área de sedimentación en el mismo espacio. Consisten en tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas (lamelas) o tubos inclinados respecto a la base, y por cuyo interior se hace fluir el agua de manera ascendente. En la superficie inferior se van acumulando las partículas, desplazándose de forma descendente y recogiendo en el fondo del sedimentador. (Rodríguez, y otros, 2006)

### **2.3.1.3. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario permite la reducción de la contaminación orgánica, la coagulación y la eliminación de sólidos coloidales que son no decantables, varios de estos tratamientos son procesos biológicos. En este proceso también se emplea la combinación de procesos físicos y químicos. (Valencia, 2013)

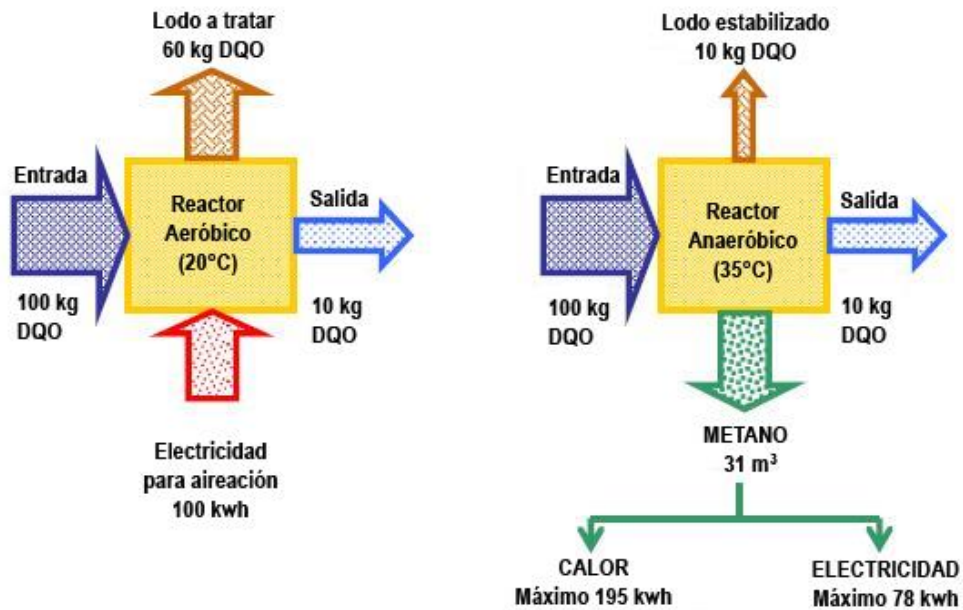
El tratamiento biológico de las aguas residuales consiste en la remoción de materia orgánica soluble y en estado coloidal por medio de reacciones catalizadas por microorganismos y después separando la biomasa generada del agua tratada, logrando así una eliminación, en términos de materia biodegradable y suspendida, mayor al 85% en el proceso. (Lin, 2007)

Los procesos biológicos más usados en las plantas de tratamiento son los de cultivos en suspensión (lodos activos) y cultivos fijos (filtros percoladores). (Metcalf & Eddy, 2004)

También son usados los procesos de lecho de lodos, biodiscos y lagunas de estabilización. (Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000)

El tratamiento secundario puede ser de naturaleza aeróbica o anaeróbica. La Figura N. 8 muestra las características de uno y otro. Dentro de las diferencias está la generación de metabolitos finales, las necesidades de oxígeno y la cantidad de biomasa producida, debido a las características de las bacterias de cada sistema. Por ejemplo, la productividad de la biomasa en condiciones aeróbicas es de 60% más que la de un sistema anaeróbico. (Morató, y otros, 2014)

Figura N. 8. Comparación de sistemas de tratamiento biológico aeróbico y anaeróbico.



Fuente: (Morató, y otros, 2014)

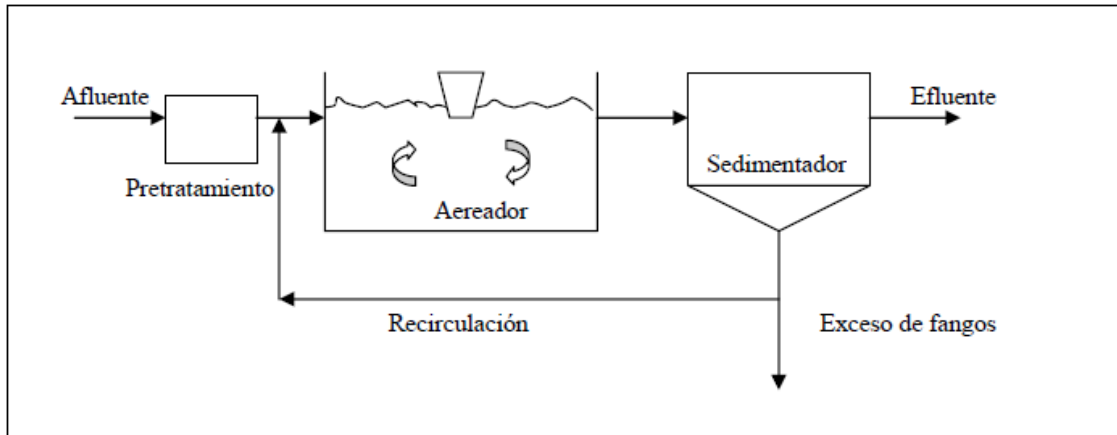
#### a. Sistema de lodos activos

Este sistema fue desarrollado por Arden y Lockett en Inglaterra en 1914, el nombre del proceso se deriva de la formación de una masa de microorganismos activos capaz de estabilizar un desecho orgánico bajo condiciones aerobias. (Collazos, 2008)

Los lodos activados es una proceso de tratamiento por el cual, el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado arreador. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque sedimentador, de donde son recirculados nuevamente al tanque aireador o de aeración (Figura N.9). En el proceso de lodos activados, los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. (Silva, 2004)

Figura N. 9. Representación esquemática del proceso de fangos activados.



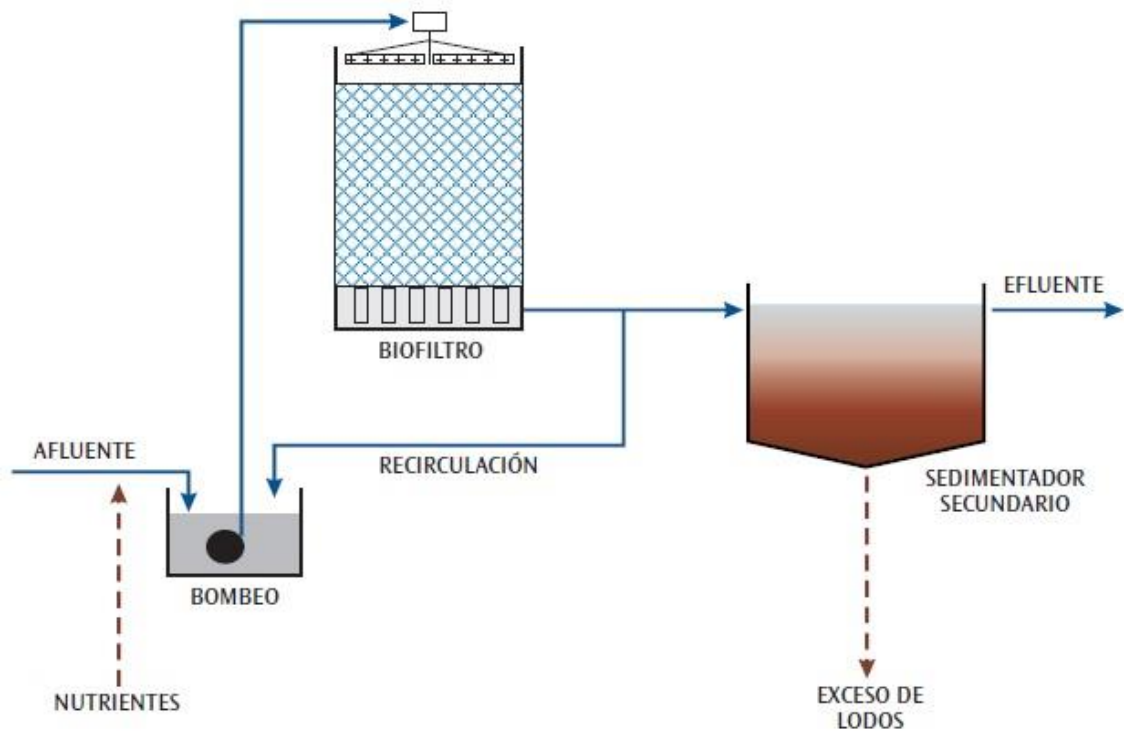


Fuente: (Silva, 2004)

### b. Sistema de filtro percolador

Un filtro percolador consiste en un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho se encuentra adherida una población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que éstas percolan hacia el fondo del tanque. Después de cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende hidráulicamente del lecho de piedras para pasar luego a un clarificador secundario en donde se efectúa la separación de los lodos formados (Figura N. 10). (Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000)

Figura N. 10. Diagrama del sistema filtro percolador.



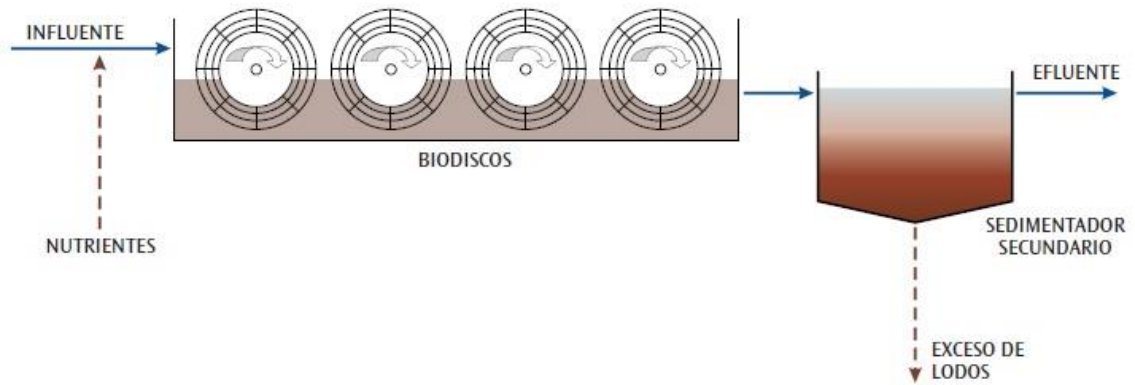
Fuente: (Marín & Osés, 2013)

### c. Sistema de biodiscos

Consisten en una serie de placas o discos, soportados en un eje y parcialmente sumergidos (40%) en una balsa que contiene el agua residual. El eje junto con los discos, gira lentamente. Sobre la superficie de los disco crece la biopelícula, que sucesivamente, se “moja” y entra en contacto con el aire, produciéndose la degradación de la materia orgánica. Son fáciles de manejar y convenientes cuando se trata de pequeños caudales. (Rodríguez, y otros, 2006)

En la Figura N. 11 podemos divisar el diagrama de funcionamiento del sistema de biodiscos.

Figura N. 11. Sistema de discos biológicos rotatorios (biodiscos).

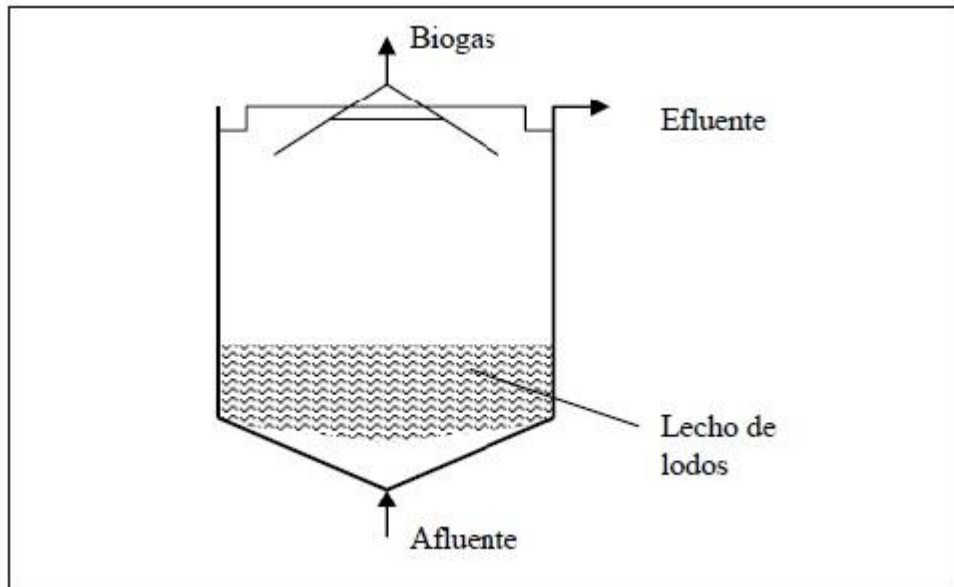


Fuente: (Marín & Osés, 2013)

#### d. Sistema de lecho de lodos

Son reactores anaerobios denominados UASB (“Upflow Anaerobis Sludge Blanket” o Manto de Fango de Flujo Ascendente). En el interior de estos reactores (Figura N. 12) se favorece la formación de flóculos o agregados de bacterias; al realizarse la alimentación del afluyente por la parte inferior y generarse gases (principalmente CO<sub>2</sub> y metano), estos flóculos pueden mantenerse en suspensión. Tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido el gas, ascienden hacia la parte superior del reactor donde se produce la liberación de este gas adherido, al entrar en contacto con unos deflectores desgasificadores. Las partículas desgasificadas suelen volver a caer y el gas se captura en una bóveda de recogida de gases instalada en la parte superior del reactor. (Silva, 2004)

Figura N. 12. Sistema UASB.

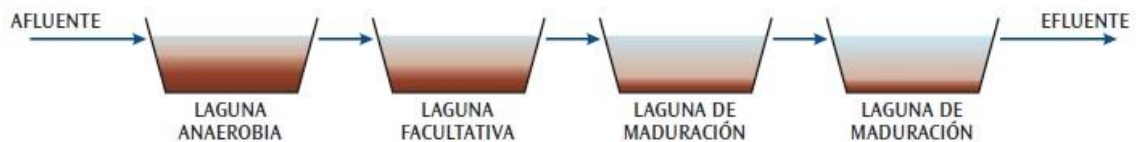


Fuente: (Silva, 2004)

#### e. Sistema de lagunas de estabilización

Están constituidas por embalses artificiales, abiertos a la acción del sol y del aire, dispuestos en el terreno natural, y delimitados por bordos compactados de material, producto de la excavación (Figura N. 12). Para el control de estos procesos biológicos, es aún más determinante la temperatura ambiente y el tiempo de retención. Se deben evitar las pérdidas excesivas por infiltración. (Marín & Osés, 2013)

Figura N. 13. Diagrama del sistema de lagunas de estabilización.



Fuente: (Marín & Osés, 2013)

De acuerdo a su clasificación y a su contenido de oxígeno se clasifican en (Marín & Osés, 2013):

### **i. Lagunas anaerobias**

Estas lagunas se destacan por la ausencia de oxígeno en la mayor parte de la laguna y por el desarrollo de microorganismos anaerobios y facultativos. Las lagunas anaerobias son las más pequeñas dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, por lagunas de estabilización. Este tipo de laguna por lo general recibe cargas volumétricas mayores a  $100 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3\text{d}$ . Estas altas cargas orgánicas producen condiciones anaerobias estrictas (oxígeno disuelto ausente) en todo el volumen de la laguna. Las lagunas anaeróbicas funcionan de modo similar a los tanques sépticos abiertos y trabajan en forma óptima en los climas calientes, tropicales y subtropicales, dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente, son factores clave para la eficiencia en los procesos de degradación. (Marín & Osés, 2013)

### **ii. Lagunas facultativas**

Se diferencia por la presencia de oxígeno en la superficie de la masa líquida y ausencia de oxígeno en el fondo, y por el desarrollo de microorganismos aerobios, facultativos y anaerobios. Las lagunas facultativas son diseñadas para remoción de  $\text{DBO}_5$  con base en una baja carga orgánica superficial que permite el desarrollo de una población algal activa. De este modo las algas producen el oxígeno requerido por las bacterias heterotróficas para remover la  $\text{DBO}_5$  soluble. Una población saludable de algas le confiere un color verde oscuro a la columna de agua. Las lagunas facultativas en ciertos casos pueden tornarse rojas o rosadas cuando existen bacterias fotosintéticas purpuras oxidantes del sulfuro, en su composición. Este cambio en la ecología de las lagunas facultativas sucede debido a ligeras sobrecargas. De esta manera, el cambio de coloración en estas lagunas es un buen indicador cualitativo del funcionamiento del proceso de degradación. (Marín & Osés, 2013)

### **iii. Lagunas aerobias**

Se caracteriza por la presencia de oxígeno en toda la masa líquida, y el desarrollo de microorganismos aerobios facultativos. Las lagunas aireadas son más profundas; su profundidad típica está entre 2 y 4.5 m. se comportan como reactores de flujo continuo sin recirculación. Su mezcla es completa. En las lagunas aireadas, el oxígeno requerido por los microorganismos para la degradación de la materia orgánica, se provee artificialmente a través de aireadores mecánicos superficiales, los que además suministran la mezcla necesaria para establecer un buen contacto entre las tres fases presentes: gas, líquido y sólido (cumplen dos funciones: suministrar el oxígeno necesario y mezclar). Esto, permite aumentar la carga orgánica aplicada y de esta manera acortar el tiempo de tratamiento. (Marín & Osés, 2013)

#### **2.3.1.4. Tratamiento terciario**

Es el procedimiento más completo para tratar el contenido de aguas residuales, pero no ha sido ampliamente adoptado por ser muy caro. Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y/o la cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final. (Marín & Osés, 2013)

##### **a. Filtración**

En el tratamiento de agua, el sistema fundamental para remover materia particulada, es la filtración. Los procesos de filtración más comunes emplean un medio granular de ciertas dimensiones y profundidad. El agua pretratada pasa a través del medio filtrante donde la mayoría de las partículas son removidas. Consiste en la eliminación de sólidos suspendidos por medio del paso del agua contaminada a través de filtros de diferentes diámetros, reteniéndose los sólidos de diámetro menor al tamaño medio de la porosidad del material utilizado. (Marín & Osés, 2013)

## **b. Adsorción**

El proceso por el cual los iones, o las moléculas, son retenidos sobre la superficie de un sólido, es lo que se denomina adsorción. El sólido recibe el nombre de adsorbente y la sustancia adsorbida el nombre de adsorvato. En el tratamiento de aguas residuales el proceso de flotación puede considerarse una adsorción, en donde el adsorbente es el sólido en suspensión y el adsorvato es el aire o el gas utilizado. El carbón activado es el adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas residuales. (Muñoz, 2008)

## **c. Desinfección**

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV. La Cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia. (Pérez & Camacho, 2011)

## **2.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN PASAJE**

El sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje se encuentra ubicado en el kilómetro 2-1/2 vía Pasaje-Buenavista, frente a la ciudadela el Deportista. El sistema consiste en dos lagunas de oxidación de flujo continuo de diferentes medidas cada una (Figura N. 13), las cuales se encuentran colapsadas debido a que lleva más de 30 años en funcionamiento

sin darle mantenimiento adecuado, en la cual la biomasa se encuentra estancado (Anexo 11) y sobre la superficie de la laguna se encuentra llena de lechuguines (Anexo 12), quienes evitan que el agua residual se oxigene naturalmente, lo que ocasiona que el tratamiento sea poco eficiente y se pueda evidenciar los malos olores que se generan, provocando malestar a las familias que viven cerca del sistema.

Figura N. 14. Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje.

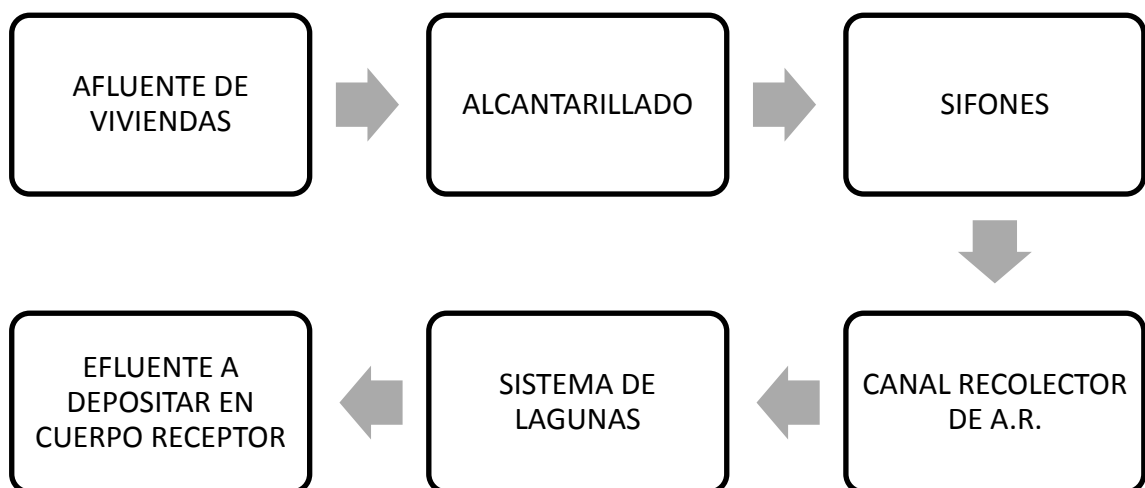


Fuente: AGUAPAS EP.



El sistema del sector sur cubre lo que es la parte baja de la parroquia urbana Tres Cerritos y parte de la parroquia Simón Bolívar como se puede apreciar en el Anexo 3. El canal de recorrido del agua residual es de poco más de 5 km, unos 400 metros antes de llegar a las lagunas de oxidación, desde el sector El Manantial se encuentra el canal cubierto de lechuguines y maleza a los costados de la misma (Anexo14), además hay una bananera en la cual usando una bomba succionan el agua residual para regar la plantación de banano (Anexo 13), además al salir las aguas residuales del sistema de alcantarillado se encuentran ubicados en diferentes partes a lo largo del canal, rejillas implementadas recientemente, que atrapan la materia suspendida, haciendo que solo agua llegue a las lagunas para realizar tratamiento, la materia suspendida es depositada en una fosa séptica en otro lugar de la ciudad. En la figura N. 14 se puede observar el diagrama de flujo de todo el recorrido que hace el agua residual para ser tratada.

Figura N. 15. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje



Fuente: Autor.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. METODOLOGÍA**

La metodología que se aplicó para elaborar este trabajo de titulación es de tipo experimental, ya que se realizó muestreo en el afluente y en el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales para poder establecer la eficiencia del mismo y poder verificar si el sistema cumple o no con los parámetros establecidos en las normas TULSMA para recurso agua, en descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce.

La toma de muestra es fundamental en todo proceso analítico, por lo cual se tomaron las debidas precauciones al realizar el muestreo evitando cometer errores que invaliden dicho proceso.

La metodología estadística se aplicó también en este trabajo de titulación, para determinar el número de muestras a realizar, tabular datos obtenidos en la fase experimental y comprobar si el sistema cumple o no con los rangos permisibles descritos en las normas TULSMA.

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo descriptiva, debido a que no solo se limita a recolectar datos sino también a describir lo que sucede en el sistema de tratamiento a través de cada uno de los parámetros estudiados en la fase experimental determinando si cumple o no con las normas ambientales vigentes, también fue de tipo cuantitativa porque se determinó cada parámetro establecido en este trabajo para calcular la eficiencia del sistema.

##### **3.1.2. Diseño de investigación**

El diseño de esta investigación es experimental, debido a que se realizó varios análisis para cuantificar las concentraciones de cada uno de los parámetros

estudiados y establecer si el sistema cumple o no con las normas ambientales vigentes.

Este trabajo de titulación también es de tipo descriptiva porque describe el proceso que se llevó a cabo para poder cuantificar la eficiencia del sistema de tratamiento.

## **3.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

### **3.2.1. TÉCNICAS ANALÍTICAS**

Se analizó los siguientes parámetros de control basados en las normas TULSMA recurso agua para descarga de efluentes en un cuerpo de agua dulce:

- Nitratos.
- Nitritos.
- Sulfatos.
- Hierro.
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- pH.
- Oxígeno disuelto.
- Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días. (DBO<sub>5</sub>)

Para la medición de los parámetros químicos se utilizó el espectrofotómetro ultravioleta modelo DR 3900 marca Hach, el cual posee su manual de procedimiento a seguir para el cálculo de cada parámetro. En el Anexo 4 se puede apreciar la ficha técnica del espectrofotómetro Hach.

#### **3.2.1.1. Nitratos: Método de reducción de cadmio.**

El cadmio metálico reduce a nitrito el nitrato presente en la muestra. El ión nitrito reacciona en medio ácido con el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia. Esta sal reacciona con el ácido gentísico para formar una

solución de color ámbar. Los resultados del ensayo se miden a 500 nm. Para obtener mayor información sobre el reactivo NitraVer5 revisar el Anexo 6.

#### **3.2.1.2. Nitritos: Método diazotación.**

El nitrito de la muestra reacciona con el ácido sulfanílico para formar sal de diazonio que reacciona con el ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa. Este color es proporcional a la cantidad de nitrito presente. Los resultados del ensayo se miden a 507 nm. En el Anexo 7 se puede divisar la ficha técnica del reactivo NitriVer3.

#### **3.2.1.3. Sulfatos: Método turbidimétrico.**

Los iones de sulfato en la muestra reaccionan con el bario en el reactivo de sulfato SulfaVer 4 y forman una turbidez de sulfato de bario insoluble. La cantidad de turbidez formada es proporcional a la concentración de sulfato. El Anexo 8 brinda información detallada sobre el reactivo SulfaVer4.

#### **3.2.1.4. Hierro: Método Fenantrolina**

El reactivo FerroVer reacciona con el hierro disuelto y la mayoría de las formas insolubles del hierro presente en la muestra para producir hierro ferroso soluble. El hierro ferroso reacciona con la fenantrolina 1,10 en el reactivo para formar un color naranja proporcional a la concentración de hierro. Los resultados del ensayo se miden a 510 nm. La ficha técnica del reactivo FerroVer se encuentra detallada en el anexo 9.

#### **3.2.1.5. DQO: Método de digestión del reactor**

Los resultados en mg/L DQO se definen como el mg de O<sub>2</sub> consumido por litro de muestra en las condiciones de este procedimiento. En este procedimiento, la muestra se calienta durante dos horas con un agente muy oxidante: dicromato potásico. Los compuestos orgánicos oxidables reaccionan, reduciendo el ión de dicromato (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>) a ión de cromo verde (Cr<sup>3+</sup>). Al

utilizar el método colorimétrico 20–1500 mg/L o 200–15,000 mg/L, se determina la cantidad de Cr<sup>6+</sup> producida. El reactivo de DQO contiene asimismo iones de mercurio y plata. La plata es un catalizador, y el mercurio se emplea para interferencias de cloruro complejas. Los resultados del análisis para el rango de 20–1500 y de 2000–15,000 mg/L de DQO se miden a 620 nm. El Anexo 10 contiene la ficha técnica del reactivo a utilizar para cuantificar la D.Q.O.

#### **3.2.1.6. Medición de pH y oxígeno disuelto**

La cuantificación de los valores de pH y oxígeno disuelto presentes en las aguas residuales se lo realizó mediante medición directa utilizando el medidor multímetro portátil de pH oxígeno disuelto HQ40d marca Hach. En el Anexo 5 se puede apreciar la ficha técnica del multímetro Hach.

#### **3.2.1.7. Medición de caudal**

Para la medición del caudal se utilizó el método del flotador, se escogió este método debido a que era el que más adecuado a nuestra necesidad. El método del flotador consiste encontrar una sección del canal o río (en nuestro caso es un canal) donde la corriente de agua sea constante y no haya interferencia para evitar que el flotador quede atascado en medio camino, se mide con un objeto que sea capaz de flotar en el agua (en esta investigación se utilizó una pelota de pingpong), se mide con un cronometro el tiempo que demora el flotador en pasar cierta distancia previamente establecida, con estos dos valores se calcula la velocidad del agua, a continuación se procede a medir el ancho y la profundidad del canal para proceder a determinar el área de prueba. Una vez calculada el área de prueba y la velocidad se procede a multiplicar estos dos valores obtener el valor del caudal.

#### **3.2.1.8. Medición de DBO<sub>5</sub>**

La medición de la DBO<sub>5</sub> se la realizó de forma matemática basado en la relación que existe con la DQO, el cual en el libro Tratamiento biológico de las

aguas residuales de los autores Eduardo Lozano y José Luis Dapena, donde indican que:

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 2,08 \quad (\text{Ronzano \& Dapena, 1995}) \quad (\text{Ec.1})$$

### **3.2.2. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE**

La eficiencia de remoción de carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por la fórmula:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

E: es la eficiencia de remoción del sistema (%).

S: es la carga contaminante del efluente (mg/l).

S<sub>0</sub>: es la carga contaminante del afluente (mg/).

## **3.3. MATERIALES**

### **3.3.1. UBICACIÓN**

El presente proyecto se lo realizará en el sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje, que se encuentra ubicado en el Km 2-1/2 vía Pasaje - Buenavista, provincia de El Oro.

### **3.3.2. UNIVERSO Y MUESTRA**

El universo es el sistema de tratamiento de aguas residuales del sector sur del cantón Pasaje, Provincia de El Oro.

El muestreo se lo va a realizar en dos procesos batch de 15 días hábiles de duración en la cual cada día se procederá a tomar una muestra a la entrada

(afluente) del sistema de tratamiento y otra muestra a la salida (efluente) de la misma.

El primer proceso batch comprenderá los meses de noviembre y diciembre del año 2014 y el segundo proceso batch comprenderá los meses de enero y febrero del año 2015. El número total de muestras será de 60. El tiempo de retención hidráulica es de 57 minutos, valor que fue estimado utilizando un flotador para medir el tiempo que demora el agua en pasar las dos lagunas de oxidación, debido a que el sistema se encuentra colapsado. El caudal del afluente ( $Q_a$ ) es de 560 l/s y el caudal del efluente ( $Q_e$ ) es de 550 l/s.

### **3.3.3. RECURSOS EMPLEADOS**

#### **3.3.3.1. RECURSOS HUMANOS**

El personal encargado del proyecto son el Tutor Dr. Hugo Romero y el egresado Edison Vacacela.

#### **3.3.3.2. RECURSOS FÍSICOS.**

##### **Reactivos:**

Sobres de reactivo nitrato NitraVer 5 en polvo. (Anexo 6)

Sobres de reactivo nitrito NitriVer 3 en polvo. (Anexo 7)

Sobres de reactivo sulfato SulfaVer 4 en polvo. (Anexo 8)

Sobres de reactivo de hierro FerroVer en polvo. (Anexo 9)

Conjunto de reactivos TNT823 UHR para análisis de DQO. (Anexo 10)

##### **Insumos:**

Cubeta de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10-mL.

Pipeta 0,1-1,0 ml.

Envases de 1 litro color ámbar para toma de muestra.

Estante de cubetas de ensayo.

**Equipos:**

Computadora.

Impresora.

Espectrofotómetro.

Multímetro.

Reactor DRB200.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. CUANTIFICACIÓN DE NITRATOS

Tabla N. 4. Valores de la concentración de nitratos y su eficiencia de remoción.

TIEMPO	NITRATOS (mg/l)		EFICIENCIA	NITRITOS	SUMATORIA (A+B)	TULSMA
	AFLUENTE	EFLUENTE (A)	PORCENTAJE	EFLUENTE (B)		L.M.P.
1	17,6	5,5	68,75	0,025	5,525	10
2	15,5	9,1	41,29032258	0,029	9,129	10
3	14,7	9,8	33,33333333	0,056	9,856	10
4	13,1	9,1	30,53435115	0,038	9,138	10
5	9,8	9,5	3,06122449	0,032	9,532	10
6	10,4	4,44	57,30769231	0,25	4,69	10
7	5,6	2,9	48,21428571	0,188	3,088	10
8	7,5	4,1	45,33333333	0,575	4,675	10
9	8,1	2,1	74,07407407	0,575	2,675	10
10	17,6	10	43,18181818	0,04	10,04	10
11	5,9	1,1	81,3559322	0,301	1,401	10
12	5,6	4,2	25	0,342	4,542	10
13	3,5	3,1	11,42857143	0,28	3,38	10
14	4,3	1,8	58,13953488	0,012	1,812	10
15	4,7	3,2	31,91489362	0,007	3,207	10
16	3,3	1,6	51,51515152	0,004	1,604	10
17	4,8	3,3	31,25	0,021	3,321	10
18	5,1	1,8	64,70588235	0,019	1,819	10
19	3,7	3,1	16,21621622	0,033	3,133	10
20	6,3	3,8	39,68253968	0,018	3,818	10
21	4,5	3,5	22,22222222	0,018	3,518	10
22	5,9	1,6	72,88135593	0,007	1,607	10
23	4,8	2,7	43,75	0,021	2,721	10
24	5,3	1,8	66,03773585	0,028	1,828	10
25	7,1	5,8	18,30985915	0,363	6,163	10
26	5,1	3,8	25,49019608	0,022	3,822	10
27	3,9	3,6	7,692307692	0,019	3,619	10
28	3,7	3,6	2,702702703	0,017	3,617	10
29	5,7	2,9	49,12280702	0,02	2,92	10
30	5,5	3,2	41,81818182	0,025	3,225	10

En la tabla anterior se detallan los resultados obtenidos de las muestras tomadas en el afluente y efluente del sistema de tratamiento, la norma TULSMA expresa a la sumatoria de nitritos y nitratos como nitrógeno total.

Figura N. 16. Variación de concentración de nitratos en el afluente y efluente por día de muestreo.

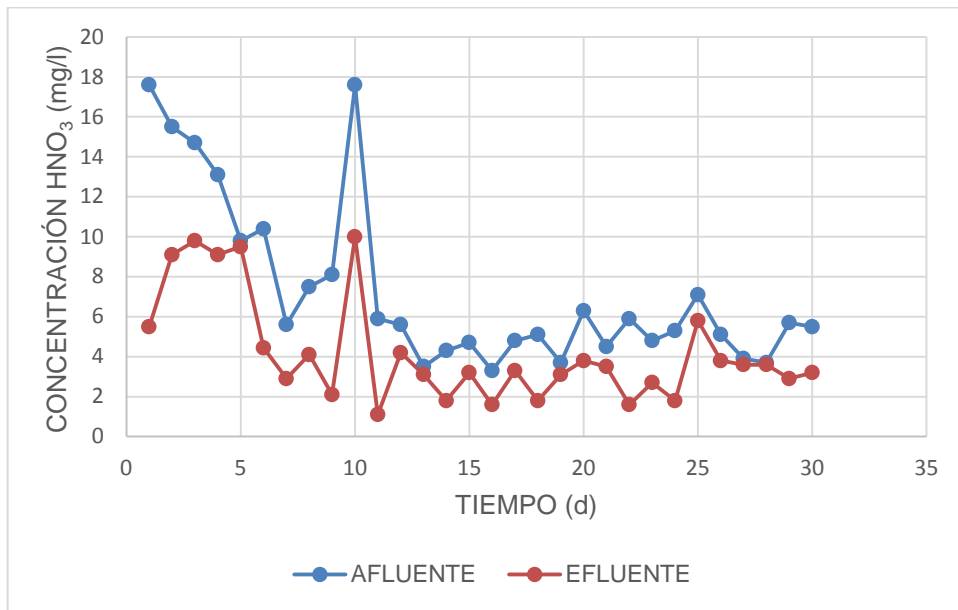
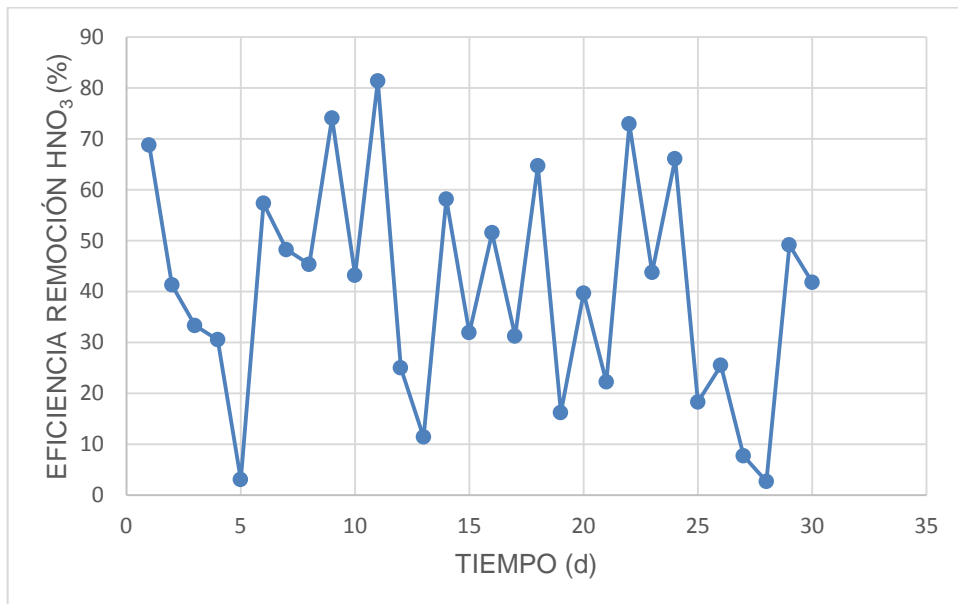


Figura N. 17. Eficiencia de remoción de nitratos por día de muestreo.



Como se puede observar en la figura anterior la eficiencia varía por día de muestreo. Su eficiencia promedio durante los 30 días de muestreo es de 40.21%.

#### 4.2. CUANTIFICACIÓN DE NITRITOS

Tabla N. 5. Valores de la concentración de nitritos presentes en el afluente y efluente del sistema y su eficiencia de remoción.

TIEMPO	NITRITOS (mg/l)		EFICIENCIA
DIAS	AFLUENTE	EFLUENTE	PORCENTAJE
1	0,179	0,025	86,03351955
2	0,098	0,029	70,40816327
3	0,197	0,056	71,57360406
4	0,059	0,038	35,59322034
5	0,239	0,032	86,61087866
6	0,582	0,25	57,04467354
7	0,568	0,188	66,90140845
8	0,591	0,575	2,707275804
9	0,578	0,575	0,519031142
10	0,571	0,04	92,99474606
11	0,397	0,301	24,1813602
12	0,527	0,342	35,10436433
13	0,515	0,28	45,63106796
14	0,205	0,012	94,14634146
15	0,169	0,007	95,85798817
16	0,007	0,004	42,85714286
17	0,026	0,021	19,23076923
18	0,089	0,019	78,65168539
19	0,12	0,033	72,5
20	0,027	0,018	33,33333333
21	0,025	0,018	28
22	0,032	0,007	78,125
23	0,319	0,021	93,4169279
24	0,146	0,028	80,82191781
25	0,539	0,363	32,65306122
26	0,338	0,022	93,49112426
27	0,327	0,019	94,18960245
28	0,391	0,017	95,65217391
29	0,307	0,02	93,48534202

30	0,31	0,025	91,93548387
----	------	-------	-------------

En la tabla N. 5 se apreciara los valores obtenidos en la fase experimental de concentración de nitritos presente en el agua del afluente y efluente del sistema de tratamiento.

Figura N. 18. Variación de la concentración de nitritos en el afluente y efluente por día de muestreo.

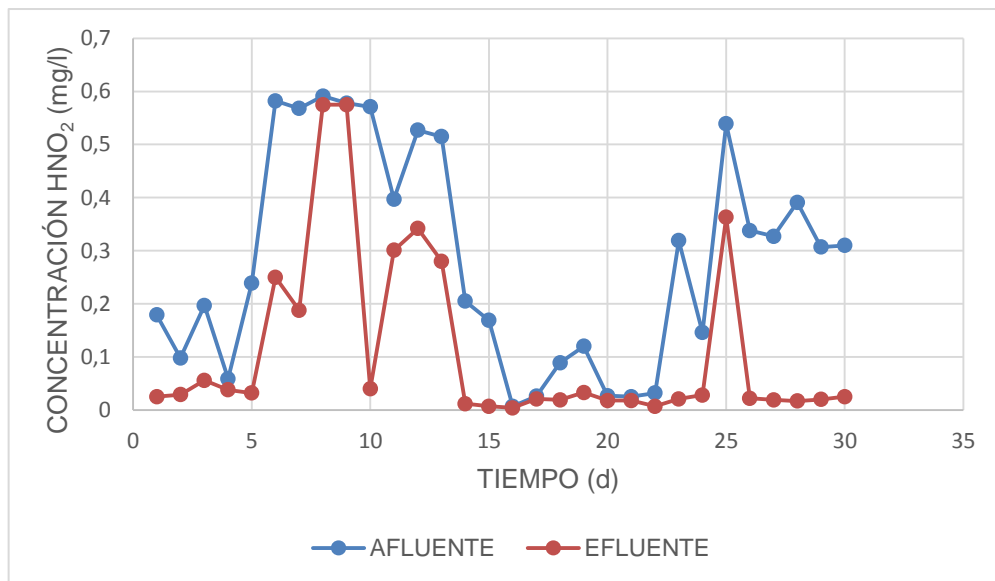
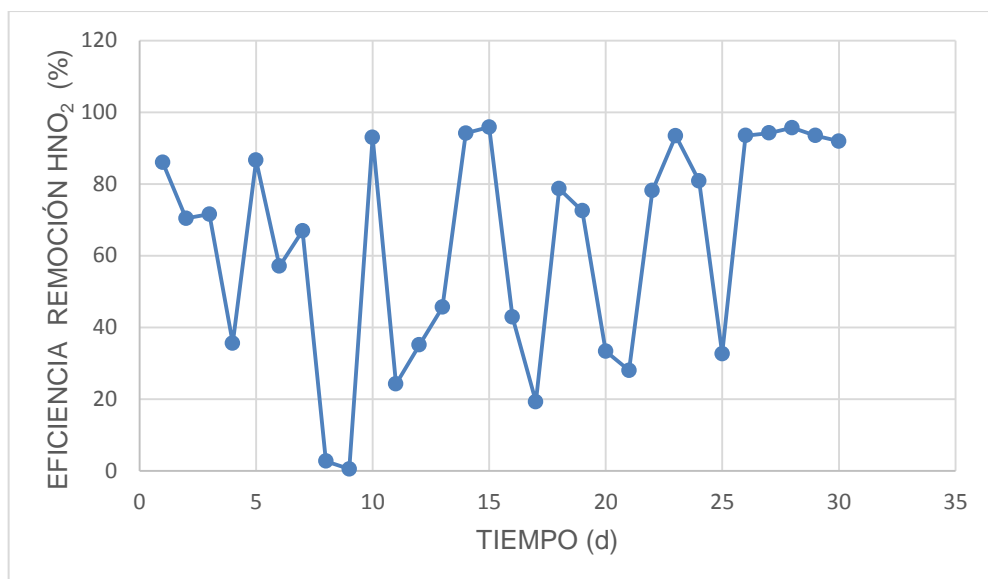


Figura N. 19. Eficiencia de remoción de nitritos por día de muestreo.



En la figura N. 19 se observa la eficiencia de remoción de nitritos por cada día de muestreo. El promedio de la eficiencia de remoción de nitritos es de 63.12%.

### 4.3. CUANTIFICACIÓN DE SULFATOS

Tabla N. 6. Valores de la concentración de sulfatos presentes en el afluente y efluente del sistema y su eficiencia de remoción.

TIEMPO	SULFATOS (mg/l)		EFICIENCIA	TULSMA
DIAS	AFLUENTE	EFLUENTE	PORCENTAJE	L.M.P.
1	39	32	17,94871795	1000
2	38	32	15,78947368	1000
3	39	36	7,692307692	1000
4	37	35	5,405405405	1000
5	31	25	19,35483871	1000
6	42	36	14,28571429	1000
7	30	24	20	1000
8	31	26	16,12903226	1000
9	26	25	3,846153846	1000
10	42	31	26,19047619	1000
11	43	36	16,27906977	1000
12	44	38	13,63636364	1000
13	38	33	13,15789474	1000
14	32	29	9,375	1000
15	35	32	8,571428571	1000
16	35	34	2,857142857	1000
17	32	26	18,75	1000
18	30	26	13,33333333	1000
19	28	23	17,85714286	1000
20	33	31	6,060606061	1000
21	40	33	17,5	1000
22	39	38	2,564102564	1000
23	39	29	25,64102564	1000
24	37	33	10,81081081	1000
25	43	40	6,976744186	1000
26	42	36	14,28571429	1000
27	38	32	15,78947368	1000
28	35	33	5,714285714	1000
29	33	30	9,090909091	1000

30	32	28	12,5	1000
----	----	----	------	------

En la tabla N. 6 podemos apreciar los valores de concentración de sulfatos en el afluente y efluente del sistema de tratamiento y la eficiencia diaria de remoción de sulfatos.

Figura N. 20. Variación de la concentración de sulfatos en el afluente y efluente por día de muestreo.

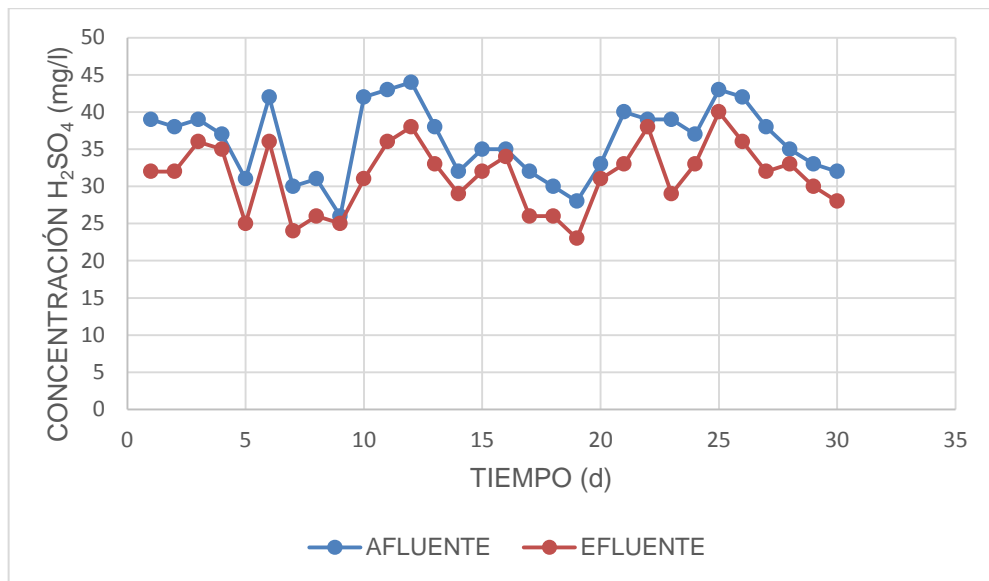
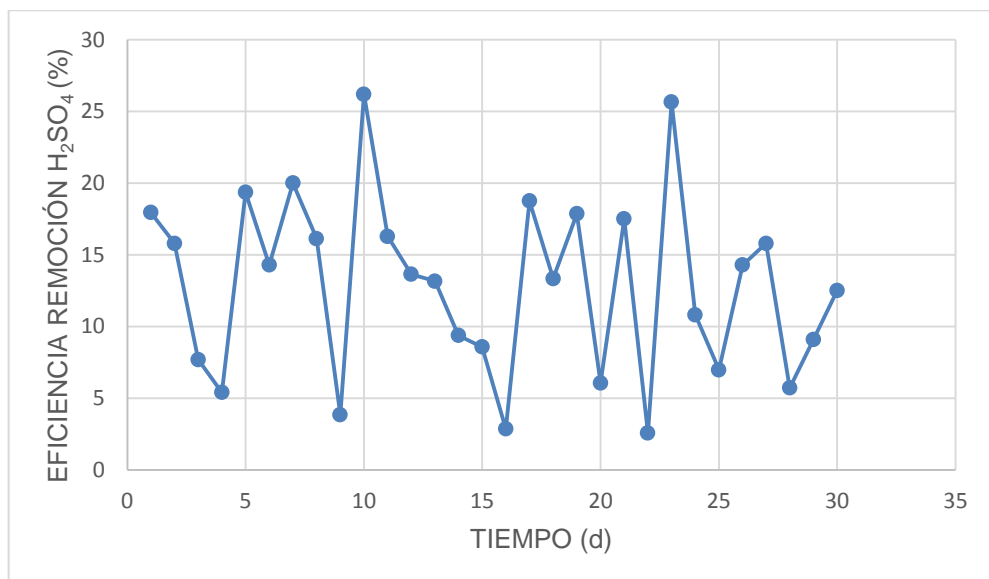


Figura N. 21. Eficiencia de remoción de sulfatos por día de muestreo.



Como se observa en la figura anterior la eficiencia de remoción de sulfatos no supera el 30%, su promedio de remoción es de 12,91%.

#### 4.4. CUANTIFICACIÓN DE HIERRO

Tabla N. 7. Valores de la concentración de hierro presentes en el afluente y efluente del sistema y su eficiencia de remoción.

TIEMPO DIAS	HIERRO (mg/l)		EFICIENCIA	TULSMA
	AFLUENTE	EFLUENTE	PORCENTAJE	L.M.P.
1	0,74	0,7	5,405405405	10
2	1,41	0,45	68,08510638	10
3	0,75	0,4	46,66666667	10
4	0,83	0,34	59,03614458	10
5	0,41	0,24	41,46341463	10
6	1	0,72	28	10
7	0,62	0,29	53,22580645	10
8	0,87	0,25	71,26436782	10
9	0,75	0,47	37,33333333	10
10	0,72	0,26	63,88888889	10
11	1,3	1,03	20,76923077	10
12	0,34	0,33	2,941176471	10
13	0,21	0,01	95,23809524	10
14	0,8	0,11	86,25	10
15	0,5	0,05	90	10
16	0,38	0,12	68,42105263	10
17	0,42	0,1	76,19047619	10
18	0,57	0,11	80,70175439	10
19	0,46	0,06	86,95652174	10
20	0,4	0,31	22,5	10
21	0,44	0,42	4,545454545	10
22	0,51	0,33	35,29411765	10
23	0,61	0,14	77,04918033	10
24	0,6	0,2	66,66666667	10
25	1,2	0,6	50	10
26	0,78	0,24	69,23076923	10
27	0,6	0,14	76,66666667	10
28	0,48	0,05	89,58333333	10
29	0,6	0,14	76,66666667	10

30	0,55	0,22	60	10
----	------	------	----	----

En la tabla N. 7 se aprecia los valores obtenidos de la concentración de hierro, además se detallan los valores del porcentaje de eficiencia diario y el límite máximo permisible para hierro.

Figura N. 22. Variación de la concentración de hierro en el afluente y el efluente por día de muestreo.

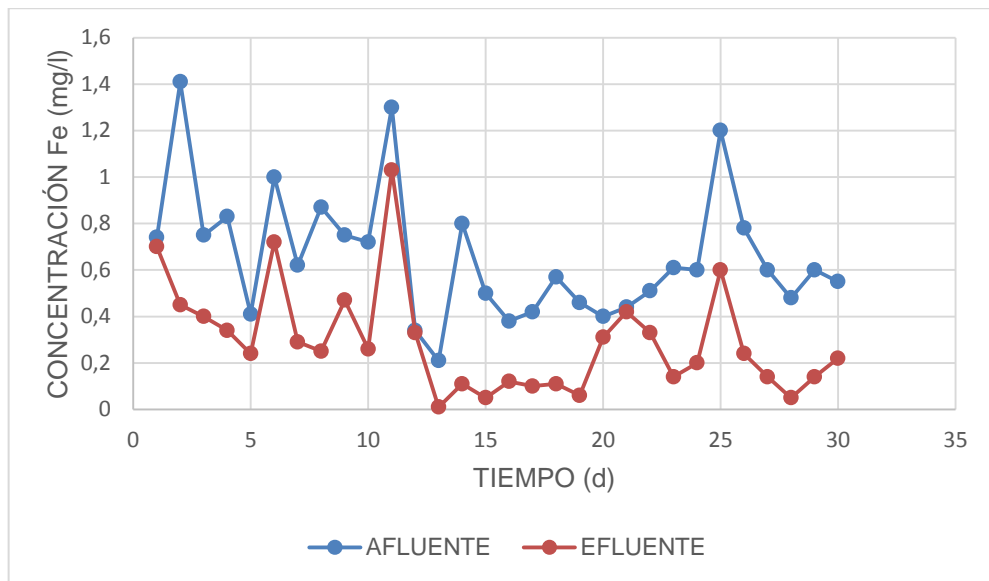
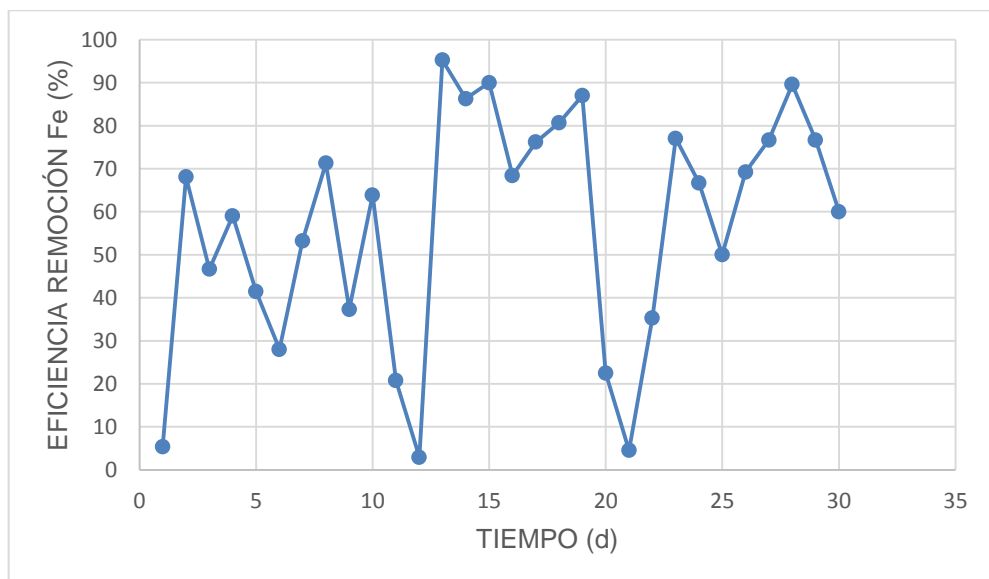


Figura N. 23. Eficiencia de remoción de hierro por día de muestreo.





Como se puede apreciar en la figura anterior, hay días en los que el sistema no es eficiente en la remoción de hierro. Su promedio de eficiencia de remoción es de 57%, este valor indica que el sistema opera a la mitad de su eficiencia.

#### 4.5. CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O.)

Tabla N. 8. Valores de la concentración de D.Q.O. presentes en el afluente y efluente del sistema y su eficiencia de remoción.

TIEMPO DIAS	D.Q.O.		EFICIENCIA	TULSMA
	AFLUENTE	EFLUENTE	PORCENTAJE	L.M.P.
1	205	179	12,68292683	250
2	292	170	41,78082192	250
3	351	249	29,05982906	250
4	216	141	34,72222222	250
5	381	233	38,84514436	250
6	140	125	10,71428571	250
7	139	126	9,352517986	250
8	133	121	9,022556391	250
9	209	137	34,44976077	250
10	128	122	4,6875	250
11	143	108	24,47552448	250
12	105	95	9,523809524	250
13	116	100	13,79310345	250
14	111	102	8,108108108	250
15	104	98	5,769230769	250
16	122	115	5,737704918	250
17	126	113	10,31746032	250
18	125	103	17,6	250
19	110	106	3,636363636	250
20	123	100	18,69918699	250
21	181	147	18,78453039	250
22	182	120	34,06593407	250
23	186	125	32,79569892	250
24	127	124	2,362204724	250
25	118	101	14,40677966	250

26	134	110	17,91044776	250
27	128	127	0,78125	250
28	126	104	17,46031746	250
29	125	101	19,2	250
30	122	100	18,03278689	250

En la tabla N. 8 se divisa el resultado de la concentración de D.Q.O., además consta también el porcentaje de eficiencia de remoción de D.Q.O. y el límite máximo permisible vigente en la norma TULSMA.

Figura N. 24. Variación de la concentración de D.Q.O. en el afluente y efluente por día de muestreo.

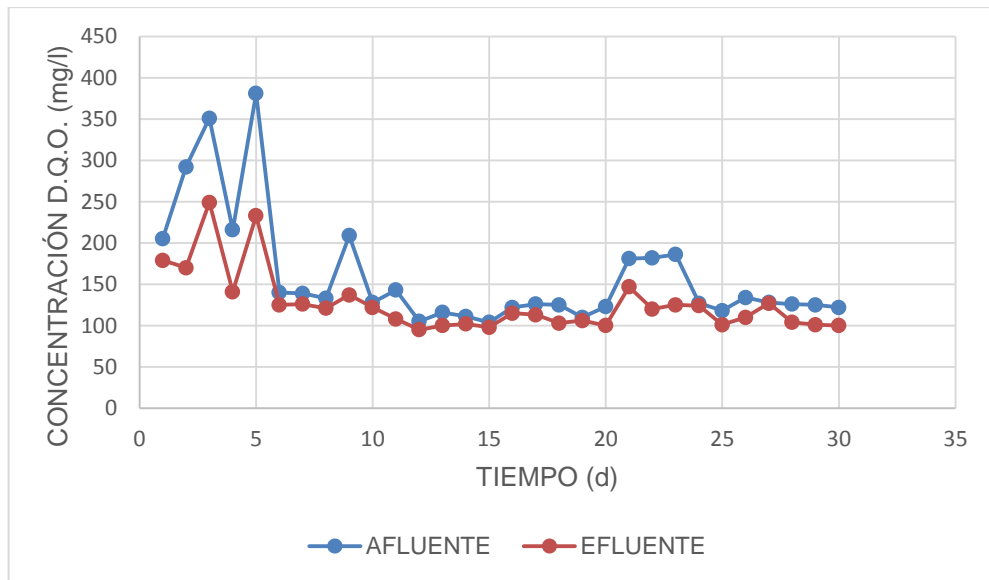
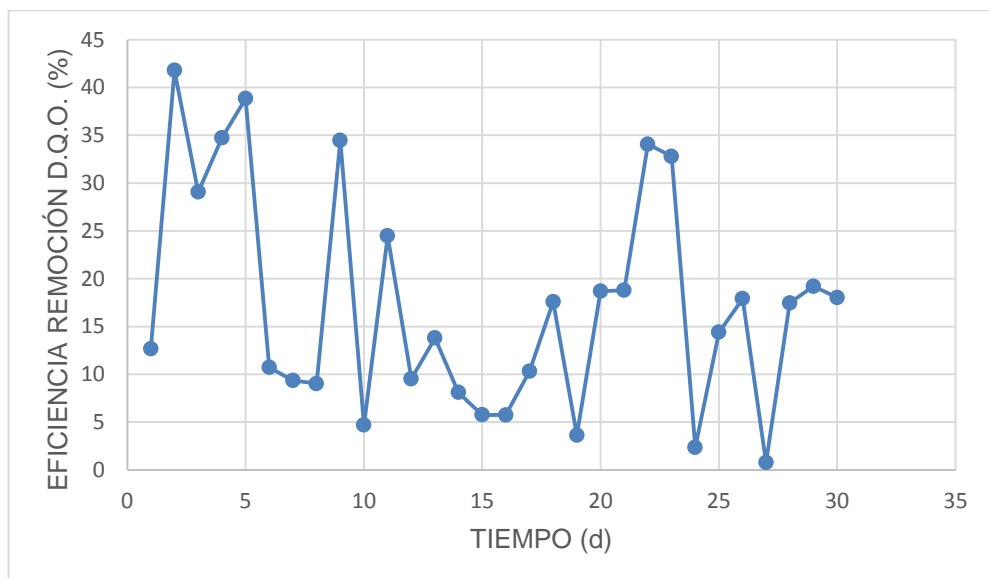


Figura N. 25. Eficiencia de remoción de D.Q.O. por día de muestreo.



Se puede observar en la figura N. 25 que el porcentaje de eficiencia de remoción de D.Q.O. no llega al 50%, haciendo notar la deficiencia del sistema en el tratamiento del agua residual. Su promedio de remoción es 17,23%.

#### 4.6. CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO

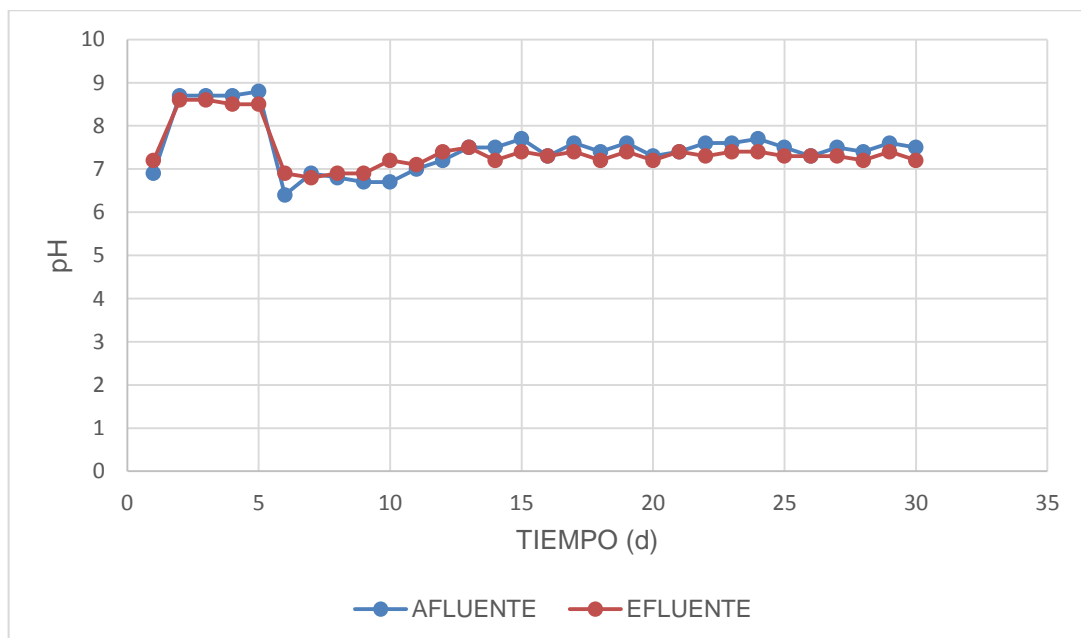
Tabla N. 9. Valores de pH presentes en el afluente y efluente del sistema y sus límites permisibles.

TIEMPO DIAS	pH		TULSMA	
	AFLUENTE	EFLUENTE	LIM MAX PER	LIM MIN PER
1	6,9	7,2	9	6
2	8,7	8,6	9	6
3	8,7	8,6	9	6
4	8,7	8,5	9	6
5	8,8	8,5	9	6
6	6,4	6,9	9	6
7	5,9	6,8	9	6
8	5,8	6,9	9	6
9	6,7	6,9	9	6
10	6,7	7,2	9	6
11	7	7,1	9	6
12	7,2	7,4	9	6
13	7,5	7,5	9	6
14	7,5	7,2	9	6
15	7,7	7,4	9	6
16	7,3	7,3	9	6
17	7,6	7,4	9	6
18	7,4	7,2	9	6
19	7,6	7,4	9	6
20	7,3	7,2	9	6
21	7,4	7,4	9	6
22	7,6	7,3	9	6
23	7,6	7,4	9	6
24	7,7	7,4	9	6
25	7,5	7,3	9	6
26	7,3	7,3	9	6

27	7,5	7,3	9	6
28	7,4	7,2	9	6
29	7,6	7,4	9	6
30	7,5	7,2	9	6

En la tabla N. 9 se puede apreciar los valores de pH obtenidos en la fase experimental, además se encuentran los valores de los límites permisibles establecidos en la norma TULSMA.

Figura N. 26. Variación de pH del afluente y efluente por día de muestreo.



#### 4.7. CUANTIFICACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO

En la tabla N. 10 se aprecian los valores obtenidos en la fase experimental de la concentración de oxígeno disuelto presente en el afluente y efluente del sistema. Además constan los valores calculados de la eficiencia de consumo de oxígeno disuelto.

La medición del parámetro oxígeno disuelto es muy importante en este estudio, debido a que éste elemento es necesario para la oxidación de la materia

orgánica, trabajo que lo realizan los microorganismos presentes en las aguas residuales.

Tabla N. 10. Valores de oxígeno disuelto presente en el afluente y efluente del sistema y su eficiencia de remoción.

TIEMPO DIAS	OXIGENO DISUETO		EFICIENCIA
	AFLUENTE	EFLUENTE	PORCENTAJE
1	2,84	2	29,57746479
2	2,75	0,99	64
3	4,59	2,39	47,93028322
4	2,74	1,7	37,95620438
5	3,99	1,69	57,64411028
6	6,54	6,09	6,880733945
7	7,52	6,53	13,16489362
8	6,75	6,36	5,777777778
9	7,6	4,84	36,31578947
10	6,19	5,8	6,300484653
11	7,87	6,09	22,61753494
12	6,28	5,22	16,87898089
13	7,38	7,2	2,43902439
14	7,51	6,09	18,9081225
15	7,95	6,72	15,47169811
16	6,76	5,37	20,56213018
17	7,34	4,73	35,55858311
18	6,95	5,03	27,62589928
19	7,27	5,74	21,04539202
20	5,91	5,05	14,55160745
21	5,39	3,61	33,02411874
22	6,67	3,55	46,77661169
23	6,4	2,81	56,09375
24	5,77	2,83	50,95320624
25	6,03	4,46	26,03648425
26	7,76	7,63	1,675257732

27	7,24	5,6	22,6519337
28	7,12	5,14	27,80898876
29	6,25	5,16	17,44
30	6,15	5,01	18,53658537

Figura N. 27. Variación de la concentración de oxígeno disuelto presente en el afluente y efluente del sistema.

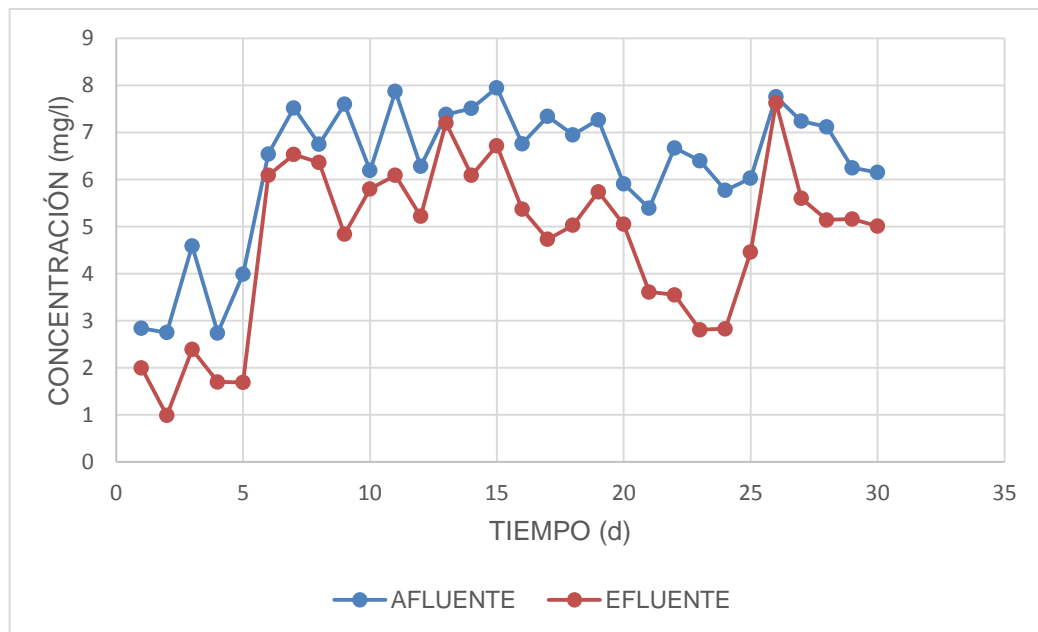
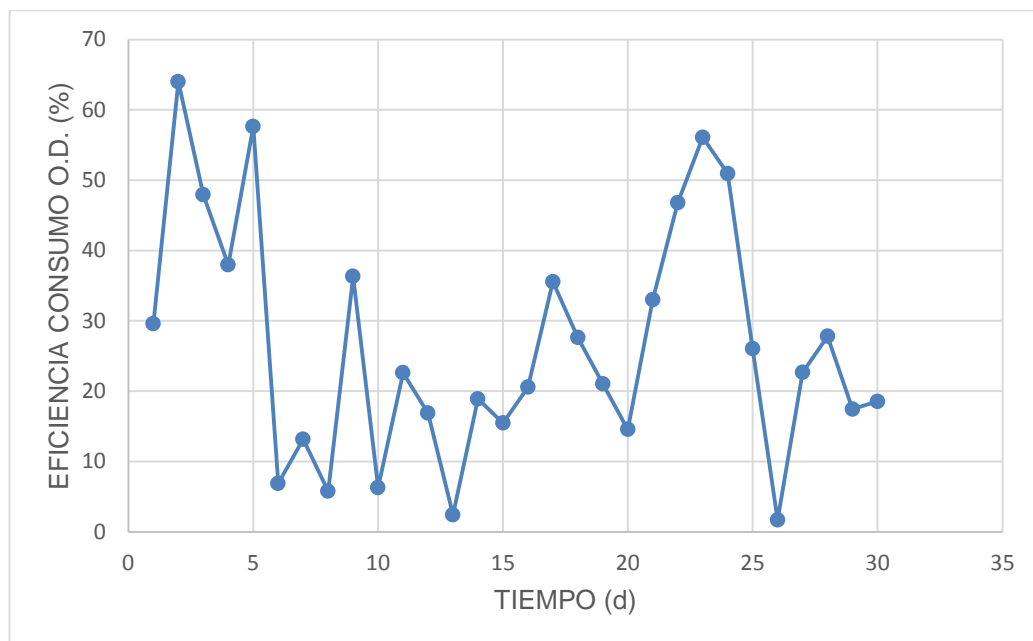


Figura N. 28. Eficiencia de consumo de oxígeno disuelto por día de muestreo.



Se puede apreciar que la mayoría de los resultados no superan el 40% de eficiencia, indicando que es deficiente el sistema. El promedio del porcentaje de remoción es del 26.74%.

#### 4.8. CUANTIFICACIÓN DE LA DBO<sub>5</sub>

Utilizando la ecuación 1 se procedió al cálculo de la demanda bioquímica de oxígeno, además consta el valor de la eficiencia de remoción y el límite máximo permisible en las normas TULSMA.

Tabla N. 11. Valores de la concentración de la DBO<sub>5</sub> presente en el afluente y efluente del sistema y su eficiencia de remoción.

TIEMPO DIAS	DBO (mg/l)		EFICIENCIA %	TULSMA L.M.P.
	AFLUENTE	EFLUENTE		
1	98,5576923	86,0576923	12,6829268	100
2	140,384615	81,7307692	41,7808219	100
3	168,75	123,076923	27,0655271	100
4	103,846154	67,7884615	34,7222222	100
5	183,173077	112,019231	38,8451444	100
6	67,3076923	60,0961538	10,7142857	100
7	66,8269231	60,5769231	9,35251799	100
8	63,9423077	58,1730769	9,02255639	100
9	100,480769	65,8653846	34,4497608	100

10	61,5384615	58,6538462	4,6875	100
11	68,75	51,9230769	24,4755245	100
12	50,4807692	45,6730769	9,52380952	100
13	55,7692308	48,0769231	13,7931034	100
14	53,3653846	49,0384615	8,10810811	100
15	50	47,1153846	5,76923077	100
16	58,6538462	55,2884615	5,73770492	100
17	60,5769231	54,3269231	10,3174603	100
18	60,0961538	49,5192308	17,6	100
19	52,8846154	50,9615385	3,63636364	100
20	59,1346154	48,0769231	18,699187	100
21	87,0192308	70,6730769	18,7845304	100
22	87,5	57,6923077	34,0659341	100
23	89,4230769	60,0961538	32,7956989	100
24	61,0576923	59,6153846	2,36220472	100
25	56,7307692	48,5576923	14,4067797	100
26	64,4230769	52,8846154	17,9104478	100
27	61,5384615	61,0576923	0,78125	100
28	60,5769231	50	17,4603175	100
29	60,0961538	48,5576923	19,2	100
30	58,6538462	48,0769231	18,0327869	100

Figura N. 29. Variación de la concentración de DBO<sub>5</sub> presente en el afluente y efluente del sistema.

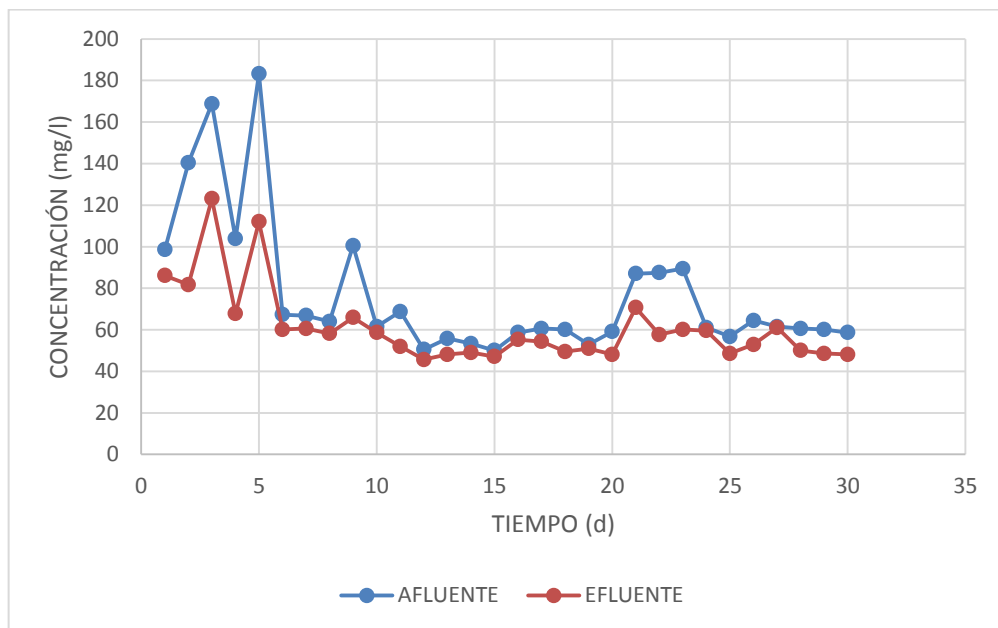
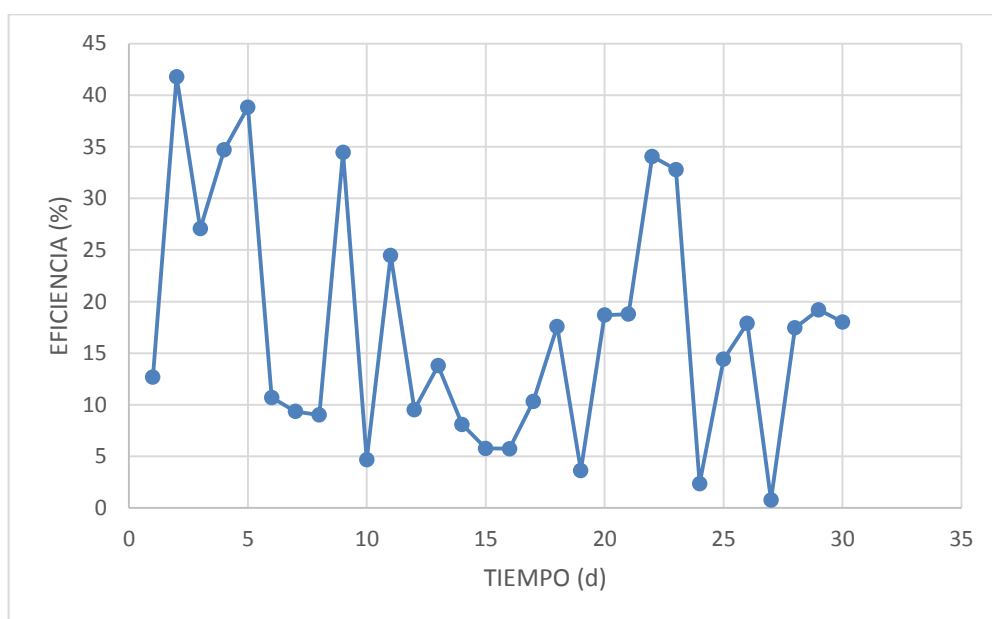




Figura N. 30. Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> por día de muestreo.



En la figura anterior se puede observar el porcentaje de eficiencia de remoción diaria de DBO<sub>5</sub>, el cual no supera el 45% de remoción. Su promedio de remoción es 17,23%.

#### 4.9. CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA

Tabla N.12. Valores de carga orgánica volumétrica por día de muestreo.

TIEMPO	COV
DIAS	Kg/m <sup>3</sup> d
1	0,16727846
2	0,2382698
3	0,28641336
4	0,17625438
5	0,31089314
6	0,11423895
7	0,11342295
8	0,108527
9	0,17054243
10	0,10444704
11	0,11668692
12	0,08567921
13	0,09465513

14	0,09057517
15	0,08486322
16	0,09955108
17	0,10281505
18	0,10199906
19	0,08975917
20	0,10036708
21	0,14769464
22	0,14851063
23	0,1517746
24	0,10363105
25	0,09628711
26	0,10934299
27	0,10444704
28	0,10281505
29	0,10199906
30	0,09955108

Para obtener el valor de la carga orgánica volumétrica se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$COV = \frac{Q * DBO_{5d}}{V} \quad \text{Ec.3.}$$

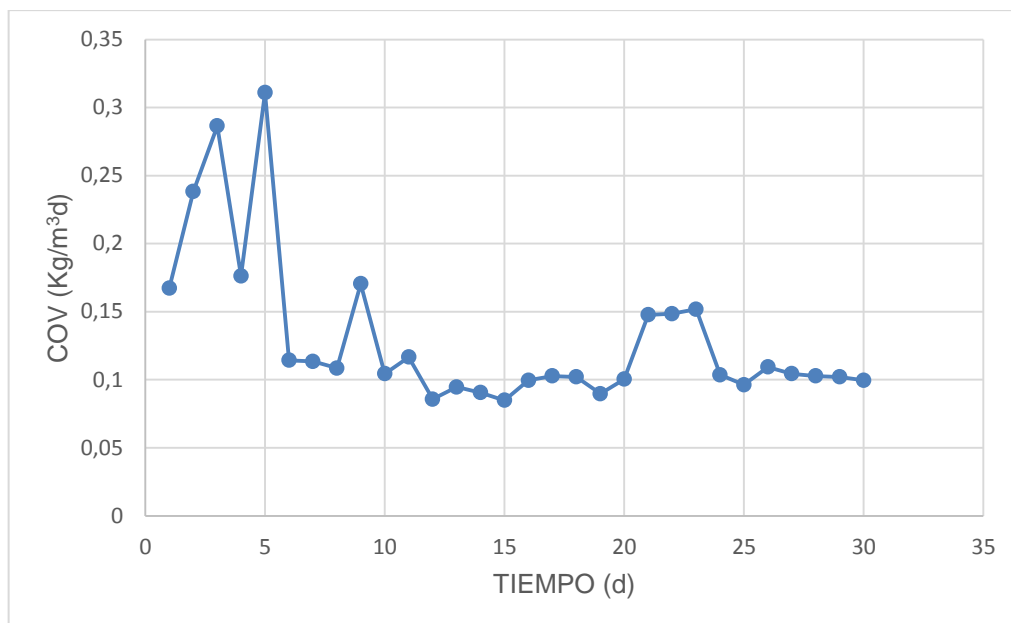
Donde:

COV= carga orgánica volumétrica.

Q= caudal de entrada.

V= volumen de laguna de oxidación.

Figura N. 31. Carga orgánica volumétrica por día de muestreo.



#### 4.10. NORMAS TULSMA

En el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI. Anexo 1. P 30, en la tabla 12 (Anexo 2) se aprecian los rangos máximos permisibles dentro de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

En la figura N. 32 podemos observar la comprobación de las concentraciones de nitritos más nitratos representados como nitrógeno según las normas TULSMA.

Figura N. 32. Verificación del parámetro nitrógeno total.

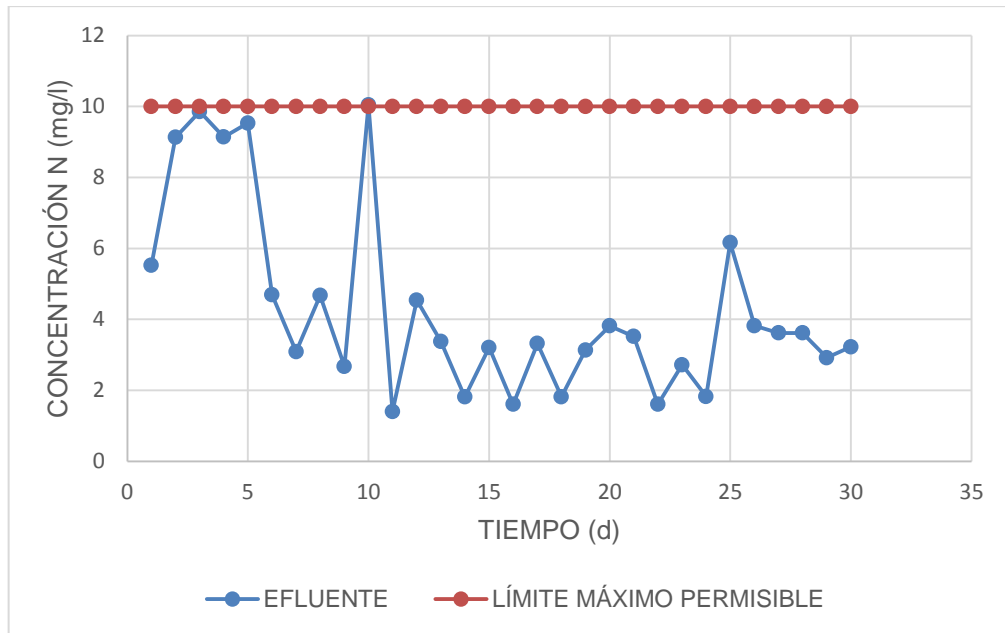


Figura N. 33. Verificación del parámetro sulfato.

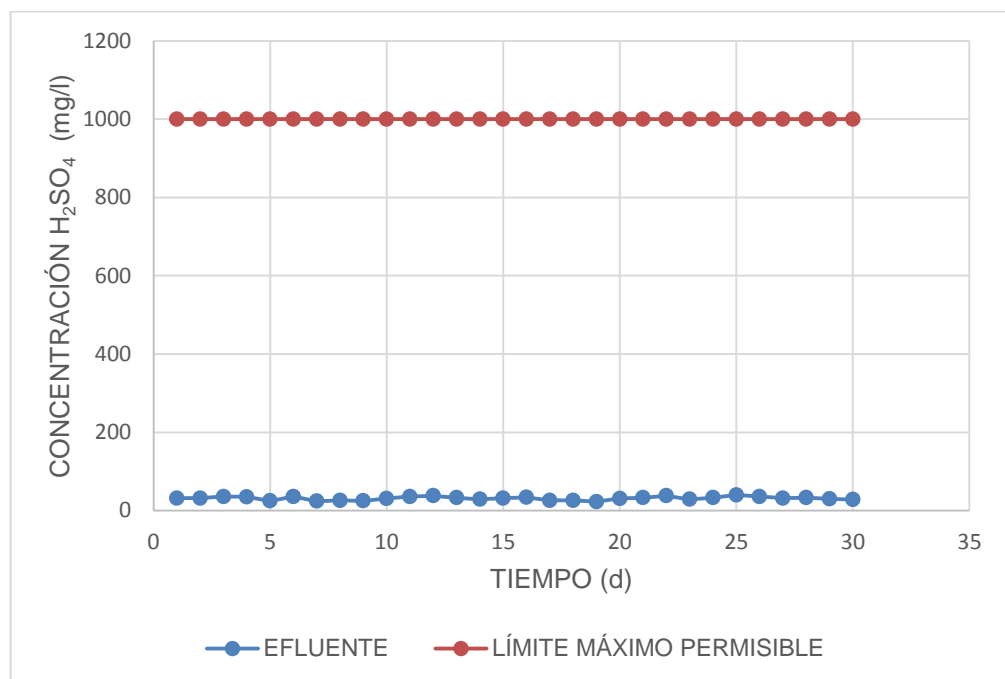


Figura N. 34. Verificación del parámetro hierro.

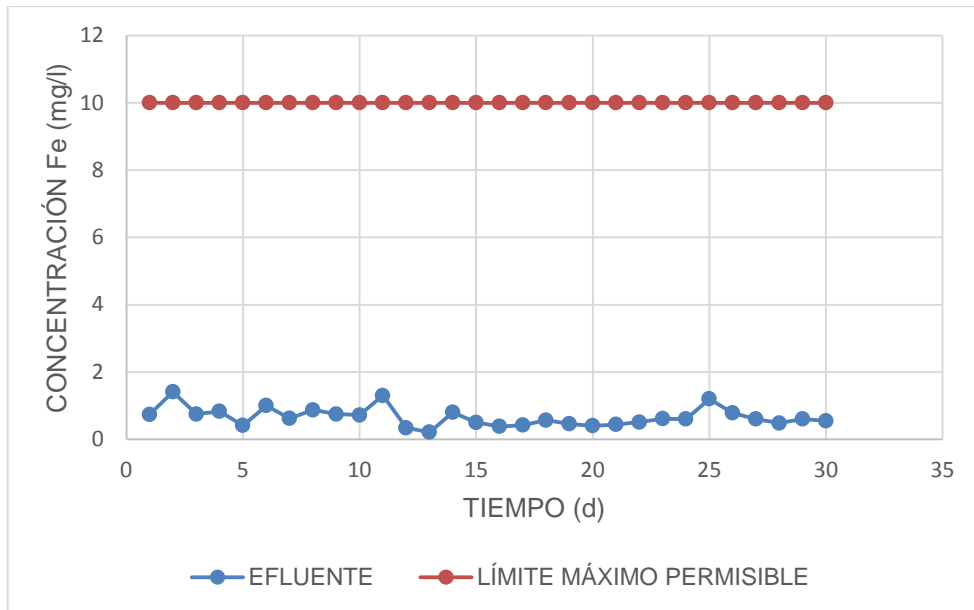


Figura N. 35. Verificación del parámetro D.Q.O.

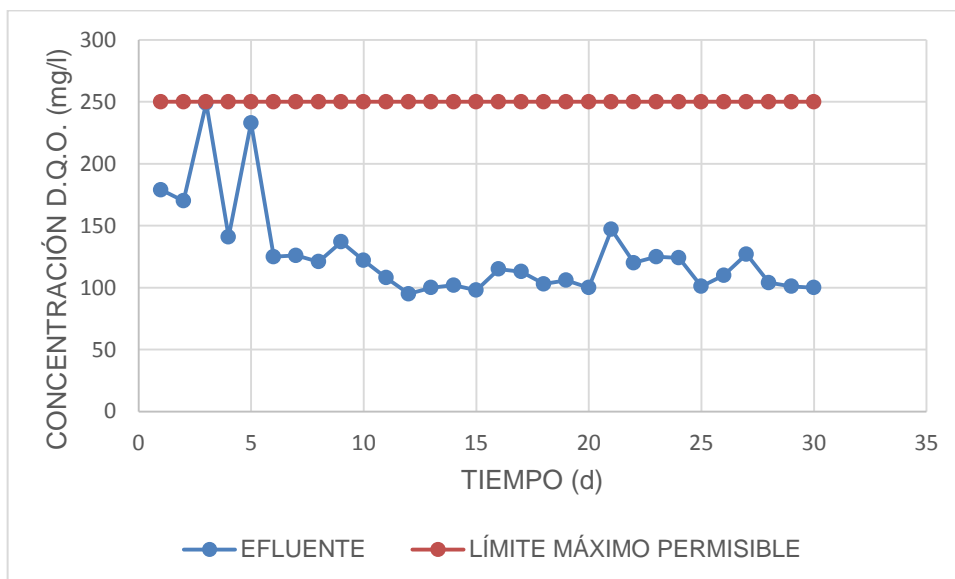
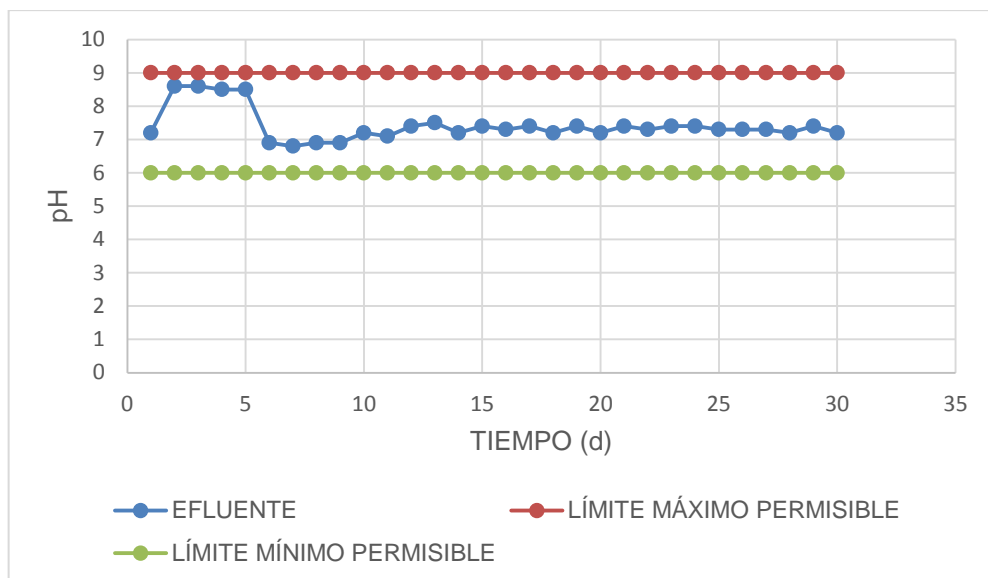
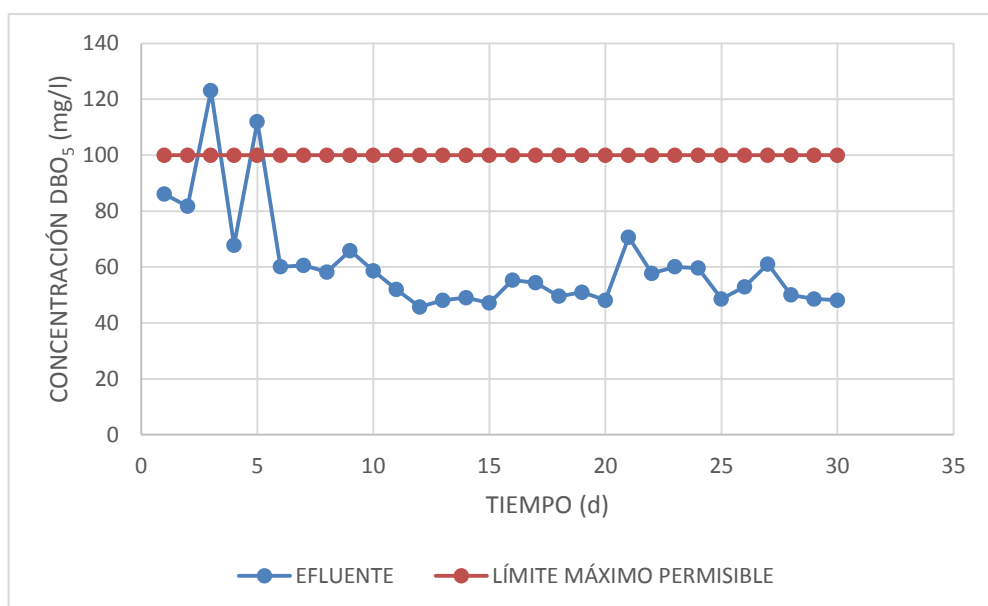


Figura N. 36. Verificación del parámetro pH.



En las figuras N. 32, 33, 34, 35 y 36 se puede apreciar que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, cumpliendo así con las normas TULSMA.

Figura N. 37. Verificación del parámetro DBO<sub>5</sub>



En la figura N. 37 podemos observar la verificación del parámetro DBO<sub>5</sub> con respecto a los límites máximo permisibles en las normas TULSMA, donde podemos apreciar que en los días 3 y 5 se encuentran por encima de los rangos permisibles.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron en este trabajo de titulación indican que, el sistema del sector sur del cantón Pasaje es deficiente, su % de eficiencia es menor al 50%, a pesar de esto los valores obtenidos en esta investigación cumplen con los límites máximos permisibles dentro de la norma TULSMA a excepción de la DBO<sub>5</sub>, como en el caso de DQO el valor en la norma es de 250mg/l, en la investigación el valor más alto en el efluente es de 233 mg/l, pero en el trabajo de investigación realizado por (Valencia, 2013) en la parroquia San Luis de la provincia de Chimborazo le dio un resultado de 46,93 mg/l valor muy bajo teniendo en cuenta que la población 12055 habitantes y en el sector sur del cantón Pasaje son casi 5000 habitantes.

La falta de mantenimiento del sistema de tratamiento, ha provocado que el sistema trabaja a menos de la mitad de su eficiencia; como es el caso de los sulfatos, que su eficiencia de remoción sea <30% (Figura N. 20), generando malos olores y las molestias a las personas que transitan y habitan por el sector.

Cabe señalar también que la concentración de contaminantes presentes en el agua residual generadas por la población no es muy elevada, se lo comprobó en los análisis del afluente del sistema, sumándole a este la implementación del proceso de desbaste antes del sistema de tratamiento, factor por el cual el sistema de tratamiento cumple con los parámetros vigentes en las normas TULSMA más no con la eficiencia del sistema de tratamiento que está por debajo del 50%.

## 6. CONCLUSIONES

El sistema no está efectuando ningún tratamiento al agua residual proveniente del sector sur del cantón Pasaje.

Los parámetros analizados en este sistema fueron: nitritos: remoción promedio 63,12%; nitratos: remoción promedio 40,22%; sulfatos: remoción promedio 12,91%; hierro: remoción promedio 57%; DQO: remoción promedio 17,23%; pH y oxígeno disuelto: consumo promedio 26,74%. A través de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> se procedió a determinar la DBO<sub>5</sub>: remoción promedio 17,23% y con este valor multiplicado por el caudal se calculó la carga orgánica volumétrica, el promedio de carga entrante es 0,13 Kg/m<sup>3</sup>d.

Los parámetros analizados en este trabajo de investigación realizado en el sistema del sector sur del cantón Pasaje, solo la DBO<sub>5</sub> se encuentra fuera de los límites máximos permisibles establecidos en las normas TULSMA.

La eficiencia del sistema del sector sur del cantón Pasaje es < 45% en relación a la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), parámetro más importante estudiado en este trabajo de titulación.



## **7. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que se proceda a embaular el canal recolector de aguas residuales para evitar que cuerpos extraños (basura y arena) perjudiquen en el funcionamiento del sistema de tratamiento.

Para tratar la problemática del sedimento se sugiere proceder a usar microorganismo biorremediadores como las pseudomonas, los cuales son un método efectivo para tratar organismos patógenos y controlar los malos olores.

Un proceso efectivo para tratar aguas residuales es el de humedales artificiales. Un sistema de humedales artificiales en el que contengan lentejas de agua, juncos y jacintos de agua logrará que en las aguas residuales baje el contenido de nutrientes y por ende de microorganismos patógenos y también de metales pesados.

Lo más importante en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales es el mantenimiento, si no se realiza periódicamente el sistema tenderá a colapsar generando problemas ambientales.

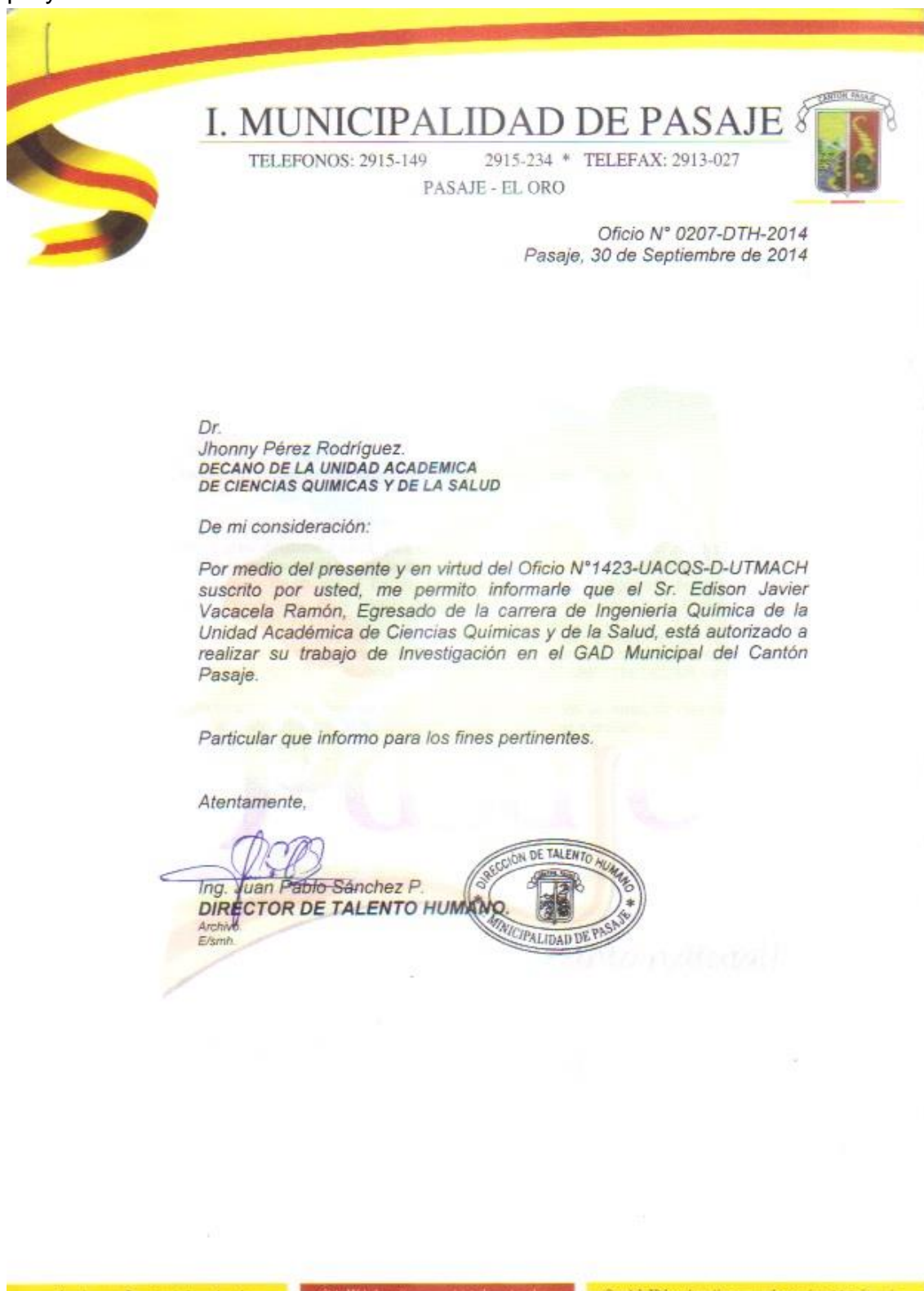
## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Ideasmares.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua 3ra ed.* Bogotá - Colombia: Mc Graw Hill.
- Collazos, C. (2008). *Tratamiento de aguas residuales, domésticas e industriales*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: Mc Grow Hill.
- Dirección de agua potable y saneamiento básico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Tratamiento de aguas residuales*. Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico.
- Espigares, M. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada. Cátedra de Medicina Preventiva y Social.
- Instituto de estudios medioambientales. (2001). *Tratamiento del agua*. Información Medioambiental.
- Lin, S. (2007). *Water and wastewater calculations manual. 2th edition*. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Lozano-Rivas, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.
- Marín, A., & Osés, M. (2013). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. Jalisco - México: Dirección Estatal del Agua de Jalisco - Dirección de Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Martín, I. (2008). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales a bajo costo para la localidad de Guelatao de Juárez, Oaxaca (México)*. México: Universidad Politécnica de Madrid.
- Mendoza, J. (1998). *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Metcalf & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and reuse 4th edition*. Estados Unidos: McGraw Hill.

- Morató, J., Pires, A., Subirana, A., Vidal, G., Jarpa, M., Plaza de los Reyes, C., . . . Barajas, M. (2014). *Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas*. Red ALFA TECSPAR.
- Muñoz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales*. Acodal.
- Osorio F, T. J. (2001). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes*. Ediciones Díaz de Santos.
- Pérez, F., & Camacho, K. (2011). *Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas*. México: Universidad Veracruzana.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec, Canadá: Editorial Reverté S. A.
- Ríos, J. (2013). *Depuración de aguas residuales*.
- Rodie, E. (1987). *Ingeniería Sanitaria*. México D. F.: Editorial Continental S. A.
- Rodriguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid - España: Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME).
- Romero, J. A. (2008). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principio de diseño*. Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Silva, J. A. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. (s.f.). En M. d. Ecuador, *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI. Anexo 1* (pág. 2).
- Valencia, A. E. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis Provincia del Chimborazo*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Autorización del GAD Municipal del cantón Pasaje para realizar el proyecto.



**Anexo 2.** Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI. Anexo 1. P 30. Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>8</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

\* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.





## Anexo 4. Ficha técnica espectrofotómetro HACH 3900.



### Exactitud de principio a fin

DR 3900 Espectrofotómetro con tecnología RFID

Número de pedido: LPV440.99.00001

- La trazabilidad comienza en el muestreo
- IBR+ aumenta la fiabilidad de los valores de medición
- Rápidas actualizaciones de datos
- Aseguramiento de la calidad simplificado gracias a AQA+
- Alineación de análisis de proceso y laboratorio

Combinación de un espectrofotómetro VIS de alto rendimiento con tecnología RFID para obtener medidas fiables y trazables de análisis rutinarios y aplicaciones de usuario.

Espectrofotómetro VIS compacto y fiable con tecnología de haz de referencia. Las muestras se trazan hasta el punto de muestreo gracias a la tecnología RFID. El código de barras 2D incluye ahora el número de lote y la fecha de caducidad de los reactivos. El módulo RFID obtiene toda la información específica del lote (p. ej., factores, métodos actualizados y certificado de lote actual) de la caja de cubetas test. Toda la información se puede recuperar de manera inmediata en el espectrofotómetro e imprimirse.

Los resultados del proceso se pueden comparar con los valores de referencia del laboratorio en el fotómetro mediante una conexión LINK2SC entre el controlador SC y el fotómetro. Los datos se pueden intercambiar de manera bidireccional a través de Ethernet, esto es, se puede conseguir la matriz de las sondas del proceso directamente desde el laboratorio.

#### Especificaciones técnicas

##### Accesorios

LQV156.99.10001: RFID Set para identificación de la muestra (1 localizador RFID LOC 100, 3 x 5 tags RFID de botellas de muestra, 5 tags RFID de localización, 2 tags RFID de operador)  
LQV157.99.10001: Módulo sipper SIP 10  
LZV873: Cable Ethernet, 2 m  
LZV791: Memoria USB  
5835900.00: Impresora Citizen PD 24

##### Alcance del suministro

Adaptador "A" para cubetas rectangulares de 1 cm/circulares de 1 pulg. + Accuvac, manual multilingüe básico (bg, cz, da, de, en, es, fr, gr, hr, hu, it, nl, pl, pt, ro, ru, sl, sv, tr), fuente de alimentación UE de 100 - 240 V, 47 - 63 Hz, tag RFID de operador.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

Almacenamiento de datos	2000 valores medidos (resultado, fecha, hora, ID de muestra, ID de operador)
Altura	151 mm
Altura del haz	10 mm
Ancho de banda espectral	5 nm
Anchura	350 mm
Aseguramiento de la Calidad	Función de programación y documentación de control de calidad con indicación de aptitud
Calibración de longitud de onda	automático
Compatibilidad de cubetas	Rectangular: 10, 20, 30, 50 mm, 1 pulgada; circular: 13 mm, 1 pulgada
Condiciones de almacenamiento	-30 °C - 60 °C
Condiciones de operación	10 °C - 40 °C
Conexión a red	Fuente de alimentación externa, 100 - 240 V, 50 - 60 Hz
Dimensiones (A x A x P)	151 mm x 350 mm x 255 mm
Exactitud de longitud de onda	± 1.5 nm (rango de longitudes de onda de 340 a 900 nm)
Exactitud fotométrica	5 mAbs entre 0,0 y 0,5 Abs
Exactitud fotométrica	1 % entre 0,50 y 2,0 Abs
Fuente de alimentación	Alimentación de escritorio
Fuente de luz	Tungsteno (VIS)
Garantía	2 años
Humedad de almacenamiento máx.	80 %
Humedad operativa máx.	80 %
IBR+	Reconocimiento automático del test, control del lote y comprobación de la fecha de caducidad
Idiomas del manual	Alemán, inglés, francés, italiano, español, portugués, checo, danés, neerlandés, húngaro, polaco, rumano, ruso, esloveno, sueco, turco, griego, finés, croata, búlgaro, serbio, eslovaco
Impresora	Compatible con la mayoría de las impresoras Deskjet de oficina.
Interfaz de usuario	Búlgaro, chino, croata, checo, danés, neerlandés, inglés, finés, francés, alemán griego, húngaro, italiano, japonés, coreano, polaco, portugués brasileño, portugués, ruso, serbio, eslovaco, esloveno, español, sueco y turco

LINK2SC	Intercambio de datos con controlador SC 1000
Linealidad fotométrica	< 0.005 - 2 Abs
Linealidad fotométrica	1 % a >2 Abs con vidrio neutro a 546 nm
Luz difusa	< 0.001 T a 340 nm con NaNO <sub>2</sub>
Modo de operación	Transmitancia (%), absorbancia y concentración, escaneados
Métodos preprogramados	> 220
Pantalla	Pantalla táctil a color TFT WVGA de 7 pulg.
Peso	4.2 kg
Programas de usuario	100
Rango de longitud de onda	320 - 1100 nm
Rango de medición fotométrica	± 3.0 Abs (rango de longitudes de onda de 340 a 900 nm)
Reproducibilidad de longitud de onda	± 0.1 nm
Requisitos de alimentación (Hz)	50/60 Hz
Requisitos de alimentación (voltaje)	110 - 240 V AC
Resolución de longitud de onda	1 nm
Selección de longitud de onda	Automático
Sistema óptico	Haz de referencia, espectral
Tecnología específica	RFID para actualizar fácilmente los métodos y leer los ID de las muestras y los certificados de análisis

Información sujeta a cambio sin previo aviso.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

HACH LANGE SPAIN S.L.U.

Edificio Seminario

C/Amador, 10-2ª PL

E-48160 Derio/Bizkaia

Tel. +34 94 657 33 88

Fax +34 94 657 33 97

[info@hach-lange.es](mailto:info@hach-lange.es)

[www.hach-lange.es](http://www.hach-lange.es)

## Anexo 5. Ficha técnica multímetro HQ40D HACH.



### Electroquímica Digital con HQD

HQ40D Kit multímetro digital, electrodo pH gel y Conduct. Std, 1m

Número de pedido: HQ40D.99.101201

- Fiabilidad excepcional y manejo sencillo
- Electrodo versátiles para todas las aplicaciones (p. ej.: aguas residuales, agua potable y aguas de procesos)
- Resultados fiables desde ubicaciones de medición inaccesibles y a larga distancia, incluso del pH
- Resultados de  $O_2$  sin errores, sin calibración ni reemplazo del electrolito
- Gestión total de datos según GLP

Multímetro portátil de dos canales de pH, ORP, conductividad, TDS, resistividad, salinidad, LDO e ISE. Instrumento con electrodo de gel de pH y electrodo de Conductividad estándares con cable de 1m. El sistema digital de electrodos/medidores combina fiabilidad, flexibilidad y facilidad de uso. Los electrodos INTELLICAL intercambiables se reconocen automáticamente y almacenan todos los datos relevantes. Las versiones robustas de exterior, prácticamente indestructibles, con varias longitudes de cable, permiten realizar mediciones incluso en ubicaciones que antes resultaban inaccesibles.

#### Especificaciones técnicas

Altura	197 mm
Anchura	95 mm
Calibración de Conductividad	Demal (1D/0,1D/0,01D); molar (0,1M/0,01M/0,001M); NaCl (0,05%; 25 $\mu$ S/cm; 1000 $\mu$ S/cm; 18mS/cm); estándar agua de mar; definidos por el usuario
Calibración de electrodo ISE	específico del electrodo
Calibración electrodo ORP	Varios estándares ORP predefinidos (p. ej.: Zobell)
Calibración electrodo de pH	4 point calibración
Calibración sensor OD	0 - 1 calibración de OD
Capacidad de almacenamiento de resultados interna	500 resultados

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

Compatibilidad con impresoras	Como accesorio opcional
Compensación de la temperatura	Compensación automática de temperatura para pH
Condiciones ambientales: humedad relativa	90 % (sin condensación)
Conformidad	Marcado CE
Corrección de resistencia de cable	Digital: innecesario
Curvas de calibración en display	Visión general de la calibración
Dimensiones (A x A x P)	197 mm x 95 mm x 36 mm
Entradas	2
Entradas electrodos digitales (inteligentes)	2 channels
Estándares de calibración personalizados	Posibilidad de estándares definidos por el usuario
Exactitud de la Conductividad	± 0.5 dentro del rango (de 1µS/cm a 200mS/cm)
Exactitud de la temperatura	± 0.3 °C
Exactitud mV	± 0.1 mV
Grado de protección IP de la carcasa	IP67
ID resultado	Registro de hora, identificador de usuario, identificador de muestra, etc.
Idiomas interfaz de usuario	Inglés, alemán, francés, italiano, español, danés, neerlandés, polaco, portugués, turco, finlandés, checo y ruso.
Interfaz de operación	Teclado
Intervalos/alertas/recordatorios de Calibración	2 horas - 7 días
Mediciones simultáneas	2 channels
Medición de la Conductividad en una lectura estable	Cinco modos de estabilización diferentes
Medición de pH	0 - 14 pH
Medición de pH con lectura estable	Cinco modos de estabilización diferentes
Medición de presión barométrica	para la compensación automática de OD
Medición de resistividad	2.5 Ωcm - 49 MΩcm
Medición directa ISE	Según el electrodo
Medición mV con lectura estable	Cinco modos de estabilización diferentes
Mensajes de error de operación	Mensajes de texto completos
Parámetro	pH, mV, ISE, DO, Conductivity, TDS, Salinity, Resistivity, ORP, Temp
Peso	0.323 kg sin pilas

Rango de Medición mV	-1500 - 1500 mV
Rango de medición	-1500 - 1500 mV
Rango de medición de TDS	0.0 - 50.0 mg/L
Rango de medición de la Conductividad	0.01 $\mu$ S/cm - 200 mS/cm
Rango de medición de la temperatura	-10 - 110 °C
Rango de medición de salinidad	0 - 42 g/kg
Rango medición OD	0.00 - 20.0 mg/L OD luminiscente
Reconocimiento automático del Buffer	Estándares de la IUPAC (DIN 19266), solución tampón técnica (DIN 19267), series 4-7-10 o definidos por el cliente
Requisitos de alimentación (voltaje)	6 V
Resolución	$\pm$ 0.5 dentro del rango (de 1 $\mu$ S/cm a 200mS/cm)
Resolución OD	0.01 mg/L o 0.1 % saturación de OD
Resolución de la Conductividad	Cinco dígitos con dos dígitos después de la coma decimal
Resolución de pH	Puede seleccionarse entre 0.001 - 0.1 pH
Resolución de temperatura	0.1 °C
Resolución mV	0.1 mV
Sondas incluidas	Standard
Tipo de pantalla	240 x 160 pixel LCD con retroiluminación

Información sujeta a cambio sin previo aviso.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

HACH LANGE SPAIN S.L.U.

Edificio Seminario

CL. Lamiur, 10- 2ª Pl.

E-48100 Derio/Bizkaia

Tel. +34 94 657 33 88

Fax +34 94 657 33 87

[info@hach-lange.es](mailto:info@hach-lange.es)

## Anexo 6. Ficha técnica reactivo NitraVer5.



NitraVer 5 Nitrato, reactivo Powder Pillow, 0,1-10 mg/L  $\text{NO}_3\text{-N}$

Número de pedido: 1403499

Reactivo en polvo en sobres cerrados para la determinación de Nitrato. Para muestras de 25 mL, pk 100.



### Especificaciones técnicas

Condiciones de almacenamiento	10 °C - 25 °C
Descripción	NitraVer 5, reactivo Nitrato, Powder Pillow, 25 mL
Instrumento	DR 3000, DR 2000
Método	Reducción de Cadmio
Número de tests	100
Número del método	8039 HR
Número del método	8171 MR
Parámetro	Nitrato
Plataforma	Powder Pillows
Rango de medición	0.3 - 30.0 $\text{NO}_3\text{-N}$
Rango de medición (2)	0.1 - 10.0 $\text{NO}_3\text{-N}$
Tamaño de muestra	25 mL
Volumen / tamaño de embalaje	pk 100 pk

Información sujeta a cambio sin previo aviso.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

## Anexo 7. Ficha técnica reactivo NitrVer3.



NitrVer 3 Sobres de reactivo en polvo para la determinación de nitrito

Número de pedido: 2107169

Reactivo en polvo en paquete sellado para la determinación de nitrógeno, nitrito 0,002-0,300 mg/L  $\text{NO}_2\text{-N}$ . Para muestra de 10 mL, 100 unidades.



### Especificaciones técnicas

Descripción	Reactivo para la determinación de nitrito, NitrVer 3, 10 ml
EPA compliant	SI
Instrumento	Todos excepto PC II
Método	Diazotización
Número de tests	100
Número del método	8507
Parámetro	Nitrito
Plataforma	Powder Pillows
Rango de medición	0.002 - 0.300 mg/L $\text{NO}_2\text{-N}$
Volumen / tamaño de embalaje	Paquete

Información sujeta a cambio sin previo aviso.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)



## Anexo 8. Ficha técnica reactivo SulfaVer4.



SulfaVer 4 Sobres de reactivo en polvo para la determinación de sulfato, de 2 a 70 mg/L de  $\text{SO}_4$

Número de pedido: 2106769

Reactivo en polvo en paquetes sellados para la determinación de sulfato mediante el método turbidimétrico SulfaVer. Para muestra de 10 mL; paquete de 100.



### Especificaciones técnicas

EPA compliant	Sí
Instrumento	Todos excepto DR/4000, DR/3000, DR/2010, DR/2000
Método	SulfaVer 4, turbidimétrico
Número de tests	100
Número del método	8051
Parámetro	Sulfato
Plataforma	Powder Pillows
Rango de medición	2 - 70 mg/L $\text{SO}_4$
Volumen / tamaño de embalaje	100/paquete

Información sujeta a cambio sin previo aviso.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

## Anexo 9. Ficha técnica reactivo FerroVer.



FerroVer Hierro, reactivo Powder Pillow, 0,02-3,00 mg/L Fe.

Número de pedido: 85499

Reactivo en polvo en sobres cerrados para la determinación de Hierro por el método 1,10 fenantrolina. Pk 100. Para 25 mL de muestra.



### Especificaciones técnicas

Condiciones de almacenamiento	10 °C - 25 °C
Descripción	Ferrover, reactivo Hierro, Powder Pillow, 25 ml
EPA compliant	Si
Instrumento	DR 3000, DR 2000
Método	FerroVer
Número de tests	100
Número del método	8008
Parámetro	Hierro
Plataforma	Powder Pillows
Rango de medición	0.02 - 3.00 mg/L Fe
Requiere digestión	para Hierro total
Volumen / tamaño de embalaje	pk 100

Información sujeta a cambio sin previo aviso.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

## Anexo 10. Ficha técnica conjunto de reactivos TNT823 UHR.



Cubetas test HACH LANGE: cantidades mínimas de reactivos, máxima seguridad.

Cubeta test para DQO, ISO 15705, de 0 a 1000 mg/L de O<sub>2</sub>

Número de pedido: LCI400

- Concentraciones exactas de la fórmula aprobada por ISO
- Extremadamente preciso
- Predosificado y listo para su uso
- Sin contacto con el reactivo tóxico
- Servicio de valorización/reciclaje

Reactivos predosificados para una máxima seguridad. Para evaluación fotométrica y de fácil manejo, se suministran empaquetados en una caja totalmente equipada listos para usar. Oficialmente aprobados para límites de consentimiento. Respetuosos con el medio ambiente debido a la menor cantidad de sustancias químicas utilizadas.

### Especificaciones técnicas

Condiciones de almacenamiento	15 - 25 °C (proteger de la luz)
Descripción	Demanda química de oxígeno
Método	Dicromato
Método estándar	ISO 15705
Número de tests	24 tests, un blanco de reactivo
Parámetro	DQO
Plataforma	LCK
Rango de medición	0 - 1000 mg/L O <sub>2</sub>
Requiere digestión	Si
Según la norma	ISO 15705
Vida útil	30 meses a partir de la fecha de producción

Información sujeta a cambio sin previo aviso.

[www.hach-lange.com](http://www.hach-lange.com)

**Anexo 11.** Laguna de oxidación estancada de sedimentos.



**Anexo 12.** Laguna de oxidación cubierta su superficie de lechuguines.



**Anexo 13.** Agua residual usada para el riego de una bananera.



**Anexo 14.** Parte del canal recolector de aguas residuales cubierto su superficie con lechuguines.

