

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**CALIDAD DEL AGUA EN LA DESCARGA DE LA PLANTA TRATADORA DE  
AGUA RESIDUAL "CECFOR"**

**Por:**

**ESMERALDA OFELIA JUÁREZ DE LA CRUZ**

**T E S I S**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Mayo de 2010**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

CALIDAD DEL AGUA EN LA DESCARGA DE LA PLANTA TRATADORA DE  
AGUA RESIDUAL "CECFOR"

Por:  
ESMERALDA OFELIA JUÁREZ DE LA CRUZ

TESIS

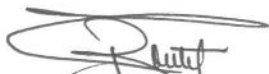
Que se somete a la consideración del H. Jurado examinador como  
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA



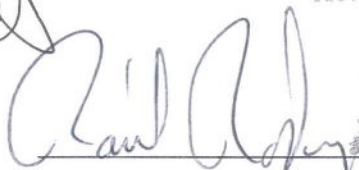
Dra. Manuela Bolívar Duarte  
ASESOR PRINCIPAL



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho  
COASESOR



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
COASESOR



Dr. Raúl Rodríguez García  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México  
Mayo de 2010

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS Nuestro señor por darme la vida y fe a lo largo de mi camino emprendido y por haberme permitido lograr uno de mis grandes anhelos de mi vida: terminar mi carrera. Gracias Dios Padre

A mi “ALMA MATER”, LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO por haberme aceptado en su seno y por ofrecerme con humildad y nobleza sus conocimientos que ayudaron en mi formación como agrónomo. Siempre lucharé por poner en alto su nombre ante la sociedad y me esforzaré por ser mejor cada día.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte por su valioso tiempo dedicado a la asesoría y revisión de este trabajo, por sus consejos y apoyo, reitero mis más sinceras gracias.

A mis Asesores al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho y al M.C Luis Rodríguez Gutiérrez, gracias por la dedicación que le dieron a este trabajo de tesis, por su valioso tiempo, que Dios los bendiga a cada uno de ustedes.

Al Departamento de Riego y Drenaje por permitirme realizar todas las actividades durante mis estudios y la culminación del presente trabajo.

A todos los maestros que a lo largo de mi carrera dieron lo mejor de sí, proporcionándome sus conocimientos para que mi formación fuese más completa.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron brindándome su apoyo.

## DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

ANASTACIO JUÁREZ CAZALES  
CARMEN MARÍA DE LA CRUZ FIGUEROA

A quienes debo la vida, a quienes me formaron e inculcaron los principios de superación sin importar las condiciones limitantes, por haberme dado la oportunidad de creer en mí y hoy que gracias a ustedes culmino una de mis más anheladas metas, sinceramente les digo que es la mejor de las herencias que me han brindado. Que Dios me los bendiga siempre.

A MIS HERMANOS: Jaqueline, Lorenzo Antonio, Alma Leticia, Maricarmen, Miguel Alejandro, Johnny Benito, a quienes dedico con mucho cariño este trabajo, porque gracias a sus consejos y apoyo desinteresado me ayudaron a luchar por ser alguien de bien en la vida; porque gracias a ustedes conozco lo que es tener una familia llena de felicidad donde siempre se vive con apoyo, cariño, armonía y respeto, gracias por creer y depositar su confianza en mí. En especial a Jaqueline, esta culminación de tesis es para Tí; pues eres mi preciosa hermana, que siempre has estado conmigo, me has atendido y cuidado y más aún estando fuera de casa con tus muchos consejos y ánimos, que Dios te bendiga siempre.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS: De la generación CV de Ingeniero Agrónomo en Irrigación, a ustedes por el apoyo y la amistad brindada que siempre ha existido entre nosotros, por todos los momentos que compartimos durante la Universidad.

## INDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DEDICATORIAS.....	x
INDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE CUADROS.....	xv
RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Agua Disponible.....	4
2.2. Calidad del Agua.....	4
2.3. Situación Actual del Agua en México.....	5
2.4. Usos del Agua.....	5
2.4.1. Clasificación de los Usos del Agua.....	5
2.5. Definición de Agua Residual.....	6
2.6. Origen de los Caudales de Aguas Residuales.....	7
2.7. Constituyentes del Agua Residual.....	8
2.8. Composición de las Aguas Residuales.....	8
2.9. Características de las Aguas Residuales.....	10
2.10. Clasificación de las Aguas Residuales.....	10
2.11. Evaluación de la Calidad del Agua.....	11
2.12. Flujos de Aguas Residuales.....	14
2.13. Panorama General de las Aguas Residuales.....	14
2.14. Propiedades de las Aguas Residuales Urbanas.....	14
2.15. Situación Actual y Perspectivas de Tratamiento del Agua Residual en México.....	16
2.16. Problemática General de las Aguas Residuales.....	16
2.17. Efectos de la Contaminación de las Aguas.....	17
2.18. Usos del Agua Residual.....	18

2.19. Parámetros de Calidad de las Aguas .....	19
2.20. Normatividad de las aguas residuales .....	21
2.20.1. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 .....	22
2.20.1.1. Objetivo y Campo de Aplicación .....	22
2.20.1.2. Condiciones Particulares para Descargas al Alcantarillado Urbano.....	22
2.20.1.3. Especificaciones .....	22
III. MATERIALES Y METODOS.....	25
3.1. Localización del Sitio de Muestreo .....	25
3.2. Descripción de la Zona de la Descarga .....	25
3.3. Descripción del Proceso de la Planta .....	26
3.4. Muestreo.....	27
3.4.1. Sistema de Muestreo.....	27
3.4.2. Selección del Sitio de Muestreo .....	27
3.4.3. Identificación de las Muestras .....	27
3.4.4. Consideraciones del Muestreo .....	28
3.4.5. Sitios de muestreo.....	28
3.4.5.1. Primer Sitio de Muestreo.....	28
3.4.5.2. Segundo Sitio de Muestreo.....	29
3.4.5.3. Tercer Sitio Muestreado.....	29
3.5. Métodos Empleados para el Análisis de las Muestras.....	29
3.5.1. Materiales y métodos .....	29
3.5.1.1. Temperatura .....	30
3.5.1.2. pH .....	31
3.5.1.3. Conductividad Eléctrica.....	31
3.5.1.4. Sólidos Sedimentables.....	31
3.5.1.5. Determinación de Sólidos .....	31
3.5.1.6. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno .....	32
3.5.1.7. Determinaciones de Coliformes Totales .....	32

3.5.1.8. Determinaciones de Nitrógeno.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	34
4.1. Parámetros Determinados de Calidad del Agua.....	34
4.2. Sólidos Totales .....	35
4.3. Sólidos Suspendidos Totales.....	35
4.4. Sólidos Sedimentables .....	36
4.5. Temperatura .....	37
4.6. pH.....	38
4.7. Conductividad Eléctrica .....	38
4.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	39
4.9. Coliformes Totales.....	40
4.10. Nitrógeno Total .....	41
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
VI. LITERATURA CITADA .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución Porcentual de los Volúmenes Concesionados para Uso Consuntivos, 2008.....	6
Figura 2. Localización de la Planta Tratadora de Agua Residual CECFOR.....	25
Figura 3. Esquema del Proceso de la Planta Tratadora de Agua Residual (PTAR-CECFOR).....	26
Figura 4. Identificación de la Muestra al Momento de su Toma.....	28
Figura 5. Ubicación del punto uno. Descarga del Agua Residual.....	29
Figura 6. Valores de Sólidos Totales.....	34
Figura 7. Valores de Sólidos Suspendidos Totales.....	35
Figura 8. Valores de Sólidos Sedimentables.....	35
Figura 9. Valores de Temperatura de las Muestras.....	36
Figura 10. Valores de pH de los Sitios de Muestreo.....	37
Figura 11. Valores de Conductividad Eléctrica .....	38
Figura 12. Contenido de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	38
Figura 13. Contenido de Coliformes Totales.....	39
Figura 14. Valores de Nitrógeno Total de los Sitios de Muestreo.....	40



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición típica del agua residual doméstica (Metcalf y Eddy, 1996).....	9
Cuadro 2. Escalas de clasificación de la calidad del agua (CNA, 2008).....	13
Cuadro 3. Las principales enfermedades relacionadas con el agua como principal mortalidad de Países bajos (Comisión Nacional del Agua, 2005).....	18
Cuadro 4. Límites Máximos Permisibles para contaminantes básicos (Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996).....	23
Cuadro 5. Parámetros determinados al agua residual en los tres sitio muestreados.....	30
Cuadro 6. Parámetros realizados a las muestras de agua residual en los tres sitios de muestreo.....	33
Cuadro 7. Comparación y cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996.....	41

## RESUMEN

Debido a la escasez del recurso agua que cada día se va agudizando, surge la necesidad de buscar nuevas formas de aprovechamiento del mismo de una manera eficiente así como su reutilización.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) considera como aguas residuales a las 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, así como la mezcla de ellas.

Es así como surge la inquietud y/o necesidad de realizar el presente trabajo, que consta básicamente de un análisis del agua en tres sitios: la entrada, la salida con y sin Cloro de la Planta Tratadora de Agua Residual-CECFOR.

Los principales parámetros que se tomaron en cuenta en el agua para determinar su calidad en la descarga son: temperatura, pH, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SS), Nitrógeno Total (NT), Demanda Química de Oxígeno( DQO). Se hizo la comparación con la NOM-002-SEMARNAT-1996; con SS  $0 \text{ ml.l}^{-1}$ , temperatura  $13.2^{\circ}\text{C}$ , pH 7 los cuales cumplen la Normatividad, además se discutió la importancia de los demás parámetros analizados. Así como la función de aplicación de Cloro en el tratamiento de la PTAR.

**Palabras clave:** Calidad del Agua, Muestreo, Norma Oficial Mexicana

## I. INTRODUCCIÓN

El agua ha jugado desde siempre un papel fundamental para la humanidad. El desarrollo de las grandes civilizaciones fue posible gracias a que éstas se asentaron en las márgenes de los grandes ríos y lagos.

El agua pura es un recurso renovable, sin embargo, puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas y que ya no sea útil, sino más bien nociva.

El empleo del agua potable en los hogares genera agua servida que contiene los residuos propios de la actividad humana. Parte de éstos residuos son materia que consume o demanda oxígeno para la oxidación de ésta, como la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y microorganismos patógenos.

Las aguas negras son generadas por las actividades humanas y sólo en países desarrollados son tratadas parte de ellas, para eliminarles los componentes considerados peligrosos y para reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) antes de ser arrojadas a los conductos de aguas negras. Sin embargo, en casi todos los países todavía las industrias arrojan las aguas de desecho a los desagües sin ningún tratamiento previo, lo cual a nivel global hace que el problema de la generación de las aguas aumente a medida que crece la población, la industria y las actividades humanas.

El recurso agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas. Resulta difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice el agua de una u otra forma; dichas actividades pueden ser en la industria, actividades agrícolas, urbanas, domésticas, desechos de sustancias sólidas y líquidas de las grandes compañías, hospitales, laboratorios, etc. Cada uno de estas actividades contamina y modifican la pureza del vital líquido.

Para contrarrestar este problema, es necesario realizar muestreos para la determinación de calidad de aguas residuales y parámetros del efluente, para tener el conocimiento de los tipos de muestreos que existen, así como la frecuencia con que se deben de llevar a cabo estas actividades; tipo de material para muestreo, temperatura de conservación y técnicas de análisis en el laboratorio para la determinación de sus parámetros de calidad y realizar comparaciones con las normas oficiales establecidas por las instituciones competentes, según sea el caso.

Por lo anterior el objetivo planteado en este trabajo fue: determinar la calidad de descarga del agua residual tratada en la Planta Tratadora de Agua Residual-CECFOR cumpla con la Norma Oficial Mexicana (NOM-002-SEMARNAT-1996).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Agua Disponible

La Comisión Nacional del Agua (CNA, 2006) reportó que poco más del 97 por ciento del volumen de agua en nuestro planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; mientras que apenas algo menos del 3 por ciento es agua dulce o de baja en salinidad. Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75 por ciento está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21 por ciento almacenado en el subsuelo es muy superior a la existentes en las corrientes superficiales; pero sólo es aprovechable en parte, debido a limitaciones físicas económicas. Gran parte del agua dulce aprovechable transita e almacena en los primeros 1000 metros a partir de la superficie del terreno, donde se alojan los acuíferos de mayor permeabilidad, de renovación más activa, económicamente accesibles y con agua de buena calidad.

### 2.2. Calidad del Agua

La calidad del agua se mide en función del grado de contaminación que tiene. Este término se utiliza en general para describir cualquier condición o sustancia que hace que el uso indiscriminado de aire, agua o tierra, se vea restringido. Por ejemplo, el agua que por su nivel de contaminación se juzga adecuada para la irrigación, ya no tiene la calidad apropiada para uso como agua potable. En el caso extremo, si el agua está demasiado contaminada, no tiene calidad necesaria para

ninguno de los usos comunes, tales como agua potable, de lavado, para la irrigación o en plantas industriales (para generar vapor o como gua de enfriamiento) (CNA, 2006).

### 2.3. Situación Actual del Agua en México

El agua en México está mal distribuida, mientras que en unas partes llueve demasiado, en otras existe sequía, aunado a esto el desperdicio que se presenta en campo, tal vez se deba a la eficiencia en los sistemas de riego, la falta de tratamiento del agua residual y el aumento de la población. Si se continúa con los actuales patrones de baja eficiencia en el riego, sobreexplotación y contaminación de los cuerpos superficiales, en 25 años México padecerá la falta del recurso en varias ciudades; verá frenado su desarrollo; sufrirá el colapso de ecosistemas y registrará problemas de salud pública. De una precipitación de 722 mm por año equivalente a 1549 kilómetros cúbicos (Km<sup>3</sup>), el Sureste recibe la mayor parte. La paradoja es que la zona Noreste y centro del país, que es en la que se concentra el 84 por ciento de la población, cuenta sólo con el 28 por ciento del agua (Millán, 2002).

La cantidad de agua residual generada por estas ciudades son de 1100 Lps. Tales aguas están de forma expuesta lo que hace relativamente fácil que algunas personas entren en contacto con ellas, convirtiéndose en una fuente de daño potencial a la salud de las mismas (Lesser, 1996).

### 2.4. Usos del Agua

#### 2.4.1. Clasificación de los Usos del Agua

En el Registro Público de Derechos de Agua se tienen registrados los volúmenes concesionados (o asignados) a los usuarios de aguas

nacionales. En dicho registro se tienen clasificados los usos del agua en 12 rubros, mismos que para fines prácticos se han agrupado en cinco grandes grupos; cuatro que corresponden a usos consuntivos, el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas, y el hidroeléctrico, que se contabiliza aparte por corresponder a un uso no-consuntivo (Comisión Nacional del Agua- CNA-2008).

Como se observa en la Figura 1, el mayor volumen concesionado para usos consuntivos del agua es el que corresponde a las actividades agrícolas, debido a que México es uno de los países con mayor infraestructura de riego en el mundo (CNA, 2008).

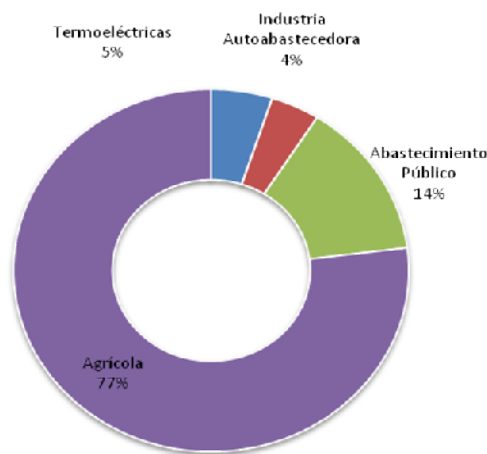


Figura 1. Distribución porcentual de los volúmenes concesionados para uso consuntivos, 2008 (CNA 2008).

## 2.5. Definición de Agua Residual

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, se considera como aguas residuales las 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, así como la mezcla de ellas. (Diario Oficial de la Federación (DOF) 1997); para Seoánez (1999a) las aguas residuales son los líquidos procedentes de la actividad humana, que llevan en su composición gran parte de agua y que generalmente son vertidos a cursos o masas de agua continental o marina y para Metcalf y Eddy (1996) la define como la combinación de los residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

## 2.6. Origen de los Caudales de Aguas Residuales

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de recogida que se emplee y puede incluir los siguientes componentes (Metcalf y Eddy, 1996):

- Agua residual doméstica (o sanitaria). Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares.
- Agua residual industrial. Agua residual en la cual predomina vertidos industriales.
- Infiltración y aportaciones incontroladas. Agua que entra tanto de manera directa, como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.
- Aguas pluviales, agua resultante de la escorrentía superficial.



## 2.7. Constituyentes del Agua Residual

Los constituyentes encontrados en el agua residual pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización del agua residual (Crites y Tchobanoglous, 2000).

## 2.8. Composición de las Aguas Residuales

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales.

En el cuadro 1 Se presentan datos típicos sobre la composición de las aguas residuales. En función de las concentraciones de estos constituyentes, podemos clasificar el agua residual de acuerdo a su concentración: fuerte, media o débil. Tanto los constituyentes como sus concentraciones presentan variaciones en función de la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales (Metcalf y Eddy, 1996).

Cuadro 1. Composición típica del agua residual doméstica (Metcalf y Eddy, 1996).

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACION		
		DÉBIL	MEDIA	FUERTE
Sólidos totales (ST)	Mg/l	350	720	1200
Sólidos disueltos totales (SDT)	Mg/l	250	500	850
Fijos	Mg/l	145	300	525
Volátiles	Mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	Mg/l	100	220	350
Fijos	Mg/l	20	55	75
Volátiles	Mg/l	80	165	275
Sólidos Sedimentables	Mg/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, 20° C (DBO <sub>5</sub> 20°C)	Mg/l	110	220	400
Carbono Orgánico Total (COT)	Mg/l	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Mg/l	250	500	1000
Nitrógeno	Mg/l	20	40	85
Orgánico	Mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	Mg/l	12	25	50
Nitritos	Mg/l	0	0	0
Nitratos	Mg/l	0	0	0
Fósforo	Mg/l	4	8	15
Orgánico	Mg/l	1	3	5
Inorgánico	Mg/l	3	5	10
Cloruros <sup>1</sup>	Mg/l	30	50	100
Sulfatos <sup>1</sup>	Mg/l	20	30	50
Alcalinidad	Mg/l	50	100	200
Grasas	Mg/l	50	100	150
Coliformes Totales <sup>2</sup>	nº/100ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
Compuestos Orgánicos Volátiles	Mg/l	<100	100-400	>400

<sup>1</sup> Los valores se deben de aumentar en la cantidades que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro

<sup>2</sup> Se debe consultar en tabla

## 2.9. Características de las Aguas Residuales

Aunque las aguas residuales presentan diversidad por naturaleza y niveles contenidos de acuerdo a los sitios por donde fluyen, de modo general y de acuerdo a Reynolds (2002), las aguas residuales consisten de dos componentes: un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo.

Por ello, para tener idea de la calidad de cierta agua residual en particular, es necesario conocer las entidades de tres tipos de parámetros que las constituyen: físicos, químicos y biológicos; los cuales sirven como criterio para determinar los procedimientos y equipos depuradores más adecuados según el tratamiento por aplicar. De acuerdo a Metcalf y Eddy (1996) entre los más importantes tenemos: temperatura, sólidos, materia flotante, color, olor, pH, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), metales pesados, coliformes totales y fecales.

## 2.10. Clasificación de las Aguas Residuales

De acuerdo a Reynolds (2002), las aguas residuales pueden englobarse dentro de cuatro clases:

- Aguas Domésticas o Urbanas. Estas resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua procedente de casas, edificios comerciales e instituciones, zonas en las que no se efectúan, o en muy poca escala, las operaciones industriales; junto con las aguas superficiales o de precipitación pluvial que puedan agregarse. El Departamento de Sanidad del Estado de New York (1986), considera el agua de infiltración subterránea como parte de estas mismas. Constituyentes comunes de estas aguas son los desechos humano y animales, desperdicios caseros; además de elevadas cantidades de sólidos diversos, materia orgánica, grasas, aceites y detergentes.

- Aguas Residuales Industriales. Son las aguas desechables de los procesos industriales, las que pueden disponerse en forma aislada o pueden agregarse a la doméstica.
- Aguas de Usos Agrícolas. Son las desechadas por la agricultura, en sus diferentes facetas, las cuales retornan a los cuerpos de agua más cercanos, una vez que la demanda de los suelos queda satisfecha.
- Aguas Pluviales. Están formadas por los escurrimientos superficiales de las lluvias, mismas que fluyen desde los techos, pavimento y otras superficies naturales de terreno.

De modo general, todos los tipos de agua están progresivamente sufriendo de contaminación más compleja, debido a la gran cantidad de desechos antropogénicos de composición sintética menos degradable y en particular, las desechables del uso agrícola están adquiriendo cada día mayor importancia, debidos a los escurrimientos de fertilizantes (nitritos y fosfatos) y pesticidas que presentan los principales causantes del envejecimiento de lagos y pantanos.

#### 2.11. Evaluación de la Calidad del Agua

La CNA (2008) actualmente utiliza tres parámetros indicadores para evaluar la calidad del agua: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La  $DBO_5$  y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal. Como se observa en el cuadro 2.

La primera indica la cantidad de materia orgánica biodegradable y en tanto que la segunda indica la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales.

Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de este parámetro hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

Cuadro 2. Escalas de clasificación de la calidad del agua (CNA, 2008)

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>		
Criterio mg/l	Clasificación	Color
DBO <sub>5</sub> ≤ 3	Excelente No contaminada	Azul
3 < DBO <sub>5</sub> ≤ 6	Buena Calidad Aguas superficiales con Bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
6 < DBO <sub>5</sub> ≤ 30	Aceptable Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descarga de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
30 < DBO <sub>5</sub> ≤ 120	Contaminada Aguas superficiales con descarga de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DBO <sub>5</sub> > 120	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo
Demanda Química de Oxígeno DQO		
DQO ≤ 10	Excelente No contaminada	Azul
10 < DQO ≤ 20	Buena Calidad Aguas superiores con Bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
20 < DQO ≤ 40	Aceptable Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descarga de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
40 < DQO ≤ 200	Contaminada Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DQO > 200	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo
Sólidos Suspendidos Totales ( SST)		
SST < 25	Excelente Clase de excepción , muy buena calidad	Azul
25 < SST ≤ 75	Buena Calidad Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.	Verde
75 < SST ≤ 150	Aceptable Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces, riego agrícola restringido	Amarillo
150 < SST ≤ 400	Contaminada Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.	Naranja
SST > 400	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.	Rojo

## 2.12. Flujos de Aguas Residuales

Aguas residuales. Las aguas de desecho son, primordialmente, partes del abastecimiento público descargadas a las alcantarillas desde los sistemas de drenaje de edificios. Secundariamente, están compuestas por aguas tomadas de fuentes privadas empleadas para acondicionamiento del aire, procesos industriales y fines similares. Del 60 al 70 por ciento del agua total abastecida se convierte en aguas residuales (Fair, 1993).

## 2.13. Panorama General de las Aguas Residuales

Muchos de los contaminantes del agua pueden actualmente removerse con relativa facilidad mediante la construcción de plantas de tratamiento. Esto es algo que está ocurriendo en todas partes del mundo. La calidad de la vida humana y su entorno depende del adecuado control de la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua. Los costos asociados con el control de la contaminación, incluyendo los costos de capital, mantenimiento mano de obra y los costos de disposición de residuos, se incrementan rápidamente conforme lo hace la cantidad de residuos. Por otro lado, el daño causado por la contaminación disminuye en la medida en que se remuevan los contaminantes (Bustani, 1994)

## 2.14. Propiedades de las Aguas Residuales Urbanas

Seoáñez (1999a) hace mención de las propiedades de las aguas residuales.

### ➤ Propiedades Físicas

Estas propiedades están en función, en su mayor parte, del contenido total de sólidos en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos.

## Sólidos

Los sólidos pueden plantear problemas cuando las aguas residuales son tratadas mediante sistemas agrícolas debido a su capacidad de ocluir los poros del suelo y de poder llegar a establecer costras impermeables sobre la superficie de los terrenos.

## Color

El color de los efluentes urbanos produce ciertos efectos sobre las aguas de aplicación cuando se siguen sistemas agrícolas de tratamiento de las aguas residuales. Generalmente la coloración es indicadora de la concentración y composición de las aguas contaminadas y puede variar del gris al negro.

## Temperatura

La temperatura de los efluentes urbanos no plantea graves problemas, ya que oscila entre 10 y 20 ° C; facilita así el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctonas, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura del medio ambiente.

## Olor

El olor causado por la descomposición anaerobia de la materia orgánica es debido, sobre todo a la presencia de ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles y es eliminado por aireación o por aspersión del agua en los diferentes sistemas biológicos que se están tratando.

## ➤ Las Propiedades Químicas

Las propiedades químicas del agua tienen gran importancia debido a que interaccionan con las del suelo, variando el valor de cada parámetro. Esto nos obliga a considerar que las modificaciones a provocar en el agua residual tiene que poseer un sentido de equilibrio que evite, en



cualquier forma, que un componente se convierta en factor limitante del crecimiento del sistema natural que queremos aplicar.

Las propiedades químicas de las aguas residuales son proporcionadas por componentes que podemos agrupar en tres categorías, según su naturaleza: materia orgánica, compuestos inorgánicos y componentes gaseosos.

#### 2.15. Situación Actual y Perspectivas de Tratamiento del Agua Residual en México

Las fábricas generan el 40 por ciento de las aguas residuales del país y sólo tratan una décima parte. Una de las ramas en donde el problema es más crítico es la industria azucarera, que genera casi el 27 por ciento de las aguas residuales de la industria. El principal obstáculo para que las fábricas den tratamiento a sus aguas ha sido la falta de recursos en las pequeñas y medianas empresas que constituyen el 97 por ciento del total (Taniguchi y Ramos, 2002). El rezago en tratamiento del agua residual se debió a que México entró tarde al tratamiento de las aguas residuales (1956), mientras que otros países del mundo empezaron en la década de los 20. Para fines del 2001, existían en el país 939 plantas de tratamiento en operación, pero destaca que las regiones donde más se ha avanzado en la construcción de plantas son la cuenca Lerma- Chapala y en el Norte del país (Ramos, 2002).

#### 2.16. Problemática General de las Aguas Residuales

Según Seoáñez (1999b) las aguas residuales plantearán el mayor problema con que se enfrentara la humanidad en los próximos años. En los países con escasas posibilidades de agua dulce o en aquéllos en que está mal distribuida.

Las aguas residuales urbanas producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen, ya que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilar. La capacidad de autodepuración de una masa de agua es siempre limitada, mientras que el vertido de residuos a ella no tiene casi freno en el momento actual. Es decir, el volumen de aguas residuales depuradas no alcanza en ningún país el nivel que debería tener hasta compensar la diferencia que existe con la capacidad de autodepuración de los ríos.

#### 2.17. Efectos de la Contaminación de las Aguas

Los efectos causados por aguas contaminadas, según la Comisión Nacional del Agua CNA (2005), pueden ser (Cuadro 3):

1. Efectos físicos. Como mal olor, cambio de color, enturbiamiento, fermentación, cambio de temperatura, etc.
2. Efectos químicos. Como la disminución de la concentración necesaria de oxígeno para la vida acuática.
3. Efectos biológicos. Como la muerte de plantas y animales, así como la producción de enfermedades en el hombre.

Cuadro 3. Las principales enfermedades relacionadas con el agua como principal mortalidad de Países Bajos (Comisión Nacional del Agua, 2005).

Enfermedades	Datos Estadísticos
Diarréicas	Cada año muere 1.8 millones de personas, de ellos el 90 % son niños menores de 5 años. El 88 % de enfermedades se atribuye a la mala calidad del agua e higiene inadecuada.
Malaria	Cada año se presenta 396 millones de casos y 1.3 millones de personas mueren, el 90 % son niños menores de 5 años. A nivel mundial el 90 % de muertes es de África.
Esquistosomiasis	Enfermedad causada por una larva que se encuentran muchas veces en acequias de riego y en aguas estancadas. De los 200 millones infectados en el mundo el 80% del contagio se produce en África.
Parásitos intestinales	133 millones de personas sufren de infecciones intestinales por parásitos, esta enfermedad causa 9400 muertes cada año.
Encefalitis Japonesa	El 20 % de los casos mueren y el 35% sufren de daño cerebral.
otras enfermedades	
Hepatitis A	Cada año hay 1.5 millones de casos de hepatitis clínica
Fluorosis	Esta enfermedad se da tanto en los dientes como en los huesos y es por eso la presencia de flúor en el agua.
Arsénico	Se debe a que las aguas subterráneas han sido contaminadas con arsénico inorgánico y pueden causar cáncer de vejiga, riñón, pulmón e incluso enfermedades cardiovasculares.

## 2.18. Usos del Agua Residual

El uso de las aguas residuales permite obtener beneficios como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales, generación de alimentos empleo e ingresos económicos, además de incrementar la frontera agrícola en zonas desérticas; así como su uso en el área de la acuicultura (Moscoso, 2002).

Márquez (1973) señala que el agua es el recurso básico para la vida, la salud y para muchas actividades de la sociedad. Es el abastecimiento de agua y este hecho refleja no sólo la calidad del medio en los conglomerados humanos, sino las posibilidades generales para el desarrollo económico social.

## 2.19. Parámetros de Calidad de las Aguas

La calidad del agua se define en relación con el uso o actividad a la que se quiera dedicar. Y por ello no podemos hablar de buena o mala calidad en abstracto, sino que cada actividad exige una calidad adecuada. Para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua puedan originar en su calidad, empleamos parámetros físicos, químicos o biológicos. A estos parámetros se los denomina indicadores de calidad del agua (Seoáñez, 1999a).

El mismo autor considera que se deben, con el fin de poder establecer los límites dentro de los cuales una modificación de los componentes del agua, pueda ser aceptada de manera que no resulte impropia para los distintos usos o para el medio mismo. En las reglamentaciones internacionales se establece distintas limitaciones.

- La concentración máxima recomendada representa un tope a alcanzar. Si el agua se encuentra dentro de esta limitación se puede asegurar su excelente calidad.
- La concentración máxima aceptable representa un límite a partir del cual ya no se puede garantizar la calidad del agua, pues aparecen una serie de factores que resultan incómodos al consumidor.
- La concentración máxima admisible representa el punto a partir del cual las aguas no sólo representan características molestas para el

consumidor, sino que su ingestión puede resultar peligrosa para la salud y por tanto el consumo de este tipo de aguas debe quedar prohibido.

En los últimos años se han desarrollado diferentes métodos de conservación cada vez más prácticos, especialmente a la hora de estabilizar componentes del agua que tengan gran inestabilidad. Sin embargo, no existe un método de conservación definitivo y hay determinados parámetros que deben ser medidos directamente al obtener la muestra.

De éstos, los más importantes son:

- pH
- Temperatura del agua
- Temperatura del aire
- Concentración de oxígeno disuelto (OD)
- Concentración de nitratos
- Concentración de iones amonio

El resto de las características propias del agua pueden ser determinadas en el laboratorio posteriormente, si bien se debe minimizar al máximo el tiempo que trascorra. Entre estos parámetros, los más usuales en la evaluación de niveles de contaminación son:

- DQO
- DBO<sub>5</sub>
- Concentración de coloides
- Contenido de materia decantable
- Contenido en grasas
- Determinaciones bacteriológicas
- Estudios biológicos
- Concentración de fosfatos y detergentes
- Determinación de contaminantes específicos

## 2.20. Normatividad de las aguas residuales

### Normas Oficiales Mexicanas de descarga

En 1997 y 1998 se promulgaron las Normas Oficiales Mexicanas, actualmente vigentes, sobre descargas de aguas residuales. Son decretos federales de obligado cumplimiento, que establecen los límites de descarga (vertido) a los diferentes cuerpos de agua y al suelo, así como a las redes de alcantarillado: NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996, respectivamente.

### 2.20.1. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

#### 2.20.1.1. Objetivo y Campo de Aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

#### 2.20.1.2. Condiciones Particulares para Descargas al Alcantarillado Urbano o Municipal

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.

#### 2.20.1.3. Especificaciones

Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados (Cuadro 4) para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función

del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Cuadro 4. Límites Máximos Permisibles para contaminantes básicos (Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, DOF, 1998).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (mg/l excepto cuando se especifique otra)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (ml/l)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02

Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

El rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C, medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y



cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida esta Norma Oficial Mexicana.

Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 referida en esta norma, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización del Sitio de Muestreo

El presente trabajo de investigación se realizó en la descarga del efluente de la Planta Tratadora de Agua Residual "CECFOR" ubicada en las coordenadas geográficas: 25° 22' 29" N y 101° 00' 43" W y una elevación de 1,750 msnm. En la Carretera Federal 54, Saltillo – Zacatecas Km. 11 + 300 .Como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Localización de la Planta Tratadora de Agua Residual CECFOR.

#### 3.2. Descripción de la Zona de la Descarga

Las aguas son provenientes de la 69 Zona Militar y del fraccionamiento Las Teresitas ubicadas en la carretera Zacatecas – Saltillo. Estas dos líneas de descarga están conectadas a la Planta Tratadora de Agua Residual-CECFOR.

### 3.3. Descripción del Proceso de la Planta

La planta de tratamiento ubicada en la Escuela de Forestal, cuenta con un sistema de separación de basuras (rejillas), posteriormente el agua se dirige al reactor anaerobio o el digestor primario que es donde se inicia el tratado está acondicionado de un material especial compuesto bacterias y microorganismos llamado lodo activado; luego de tres horas se realiza la separación primaria y digestión de flotantes y natas. Los tanques de aireación es donde se lleva a cabo la digestión aeróbica que permite proporcionar oxígeno a las bacterias que donde crecen y se multiplican para pasar posteriormente al tanque clarificador; los lodos se asientan en el fondo y así se separan tanto los lodos que se llevan al digestor primario o de lodos, como las natas que se regresan al digestor primario; la desinfección se lleva a cabo con la cloración dando como resultado agua clara y sin olor, pasando por un filtro para eliminar las partículas sólidas que pudieran quedarse en el proceso de desinfección. (Figura 3).



Figura 3. Esquema del Proceso de la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR - CECFOR)

### 3.4. Muestreo

Se describe el proceso de muestreo que se realizó en la Planta Tratadora de Agua residual

#### 3.4.1. Sistema de Muestreo

De acuerdo a los objetivos planteados para este trabajo se estableció realizar un muestreo simple puntual (el día 5 de febrero del año 2010), como indica la Norma Oficial Mexicana NMX- 003-1980 sobre esta materia, el cual consiste en tomar la muestra en el punto de descarga de manera que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga. El muestreo simple consiste en tomar muestra individual en un corto periodo de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

#### 3.4.2. Selección del Sitio de Muestreo

Por lo general, para realizar un muestreo es necesario que el sitio sea de interés y representativo lo cual se eligió en los puntos de la descarga del agua residual.

#### 3.4.3. Identificación de las Muestras

Para la identificación de muestras (Figura 4) se emplearon etiquetas que contenían la siguiente información: localización, lugar, fecha, hora.



Figura 4. Identificación de la Muestra al Momento de su Toma.

#### 3.4.4. Consideraciones del Muestreo

Cada muestra se etiquetó y se tomó la temperatura inmediatamente; en un libreta de campo se detallaron algunas características sobresalientes del lugar y de la muestra, además se tomaron fotografías del muestro.

#### 3.4.5. Sitios de muestreo

Tomando en consideración el proceso mostrado en el esquema que tiene la planta (Figura 3), para la realización de los muestreos, a continuación se describe las características de cada punto de muestreo.

##### 3.4.5.1. Primer Sitio de Muestreo

Este está en la entrada de las aguas negras, es decir, en la descarga. Se observó que tienen un contenido considerable de sólidos de gran magnitud,

los cuales son desechos de materia orgánica e inorgánica (Figura 5).

#### 3.4.5.2. Segundo Sitio de Muestreo

Es la salida del agua tratada, siendo el punto muestreado en el clarificador poco antes de llegar el agua al filtro, haciendo la medición con un envase de 2 Lt. Esta muestra es sin la aplicación de la cloro.

#### 3.4.5.3. Tercer Sitio Muestreado

Es la salida del agua ya tratada y clorada. Lista para su uso.



Figura 5. Ubicación del punto uno; descarga del agua residual

### 3.5. Métodos Empleados para el Análisis de las Muestras

#### 3.5.1. Materiales y métodos

El trabajo de análisis se realizó en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje

localizado en Buenavista, Saltillo, Coah. (UAAAN) en el mes de Febrero de 2010.

Las primeras lecturas realizadas para obtener resultados fueron de campo (pH y temperatura) y las demás muestras fueron transportadas al laboratorio para hacer los demás parámetros físicos, químicos y biológicos.

Los análisis fueron físicos y químicos. Entre los físicos están: temperatura, (al muestreo) Sólidos Totales (ST) Sólidos Sedimentables (SS) Sólidos Disueltos Totales (SDT). Las determinaciones químicas abarcan: pH, Conductividad Eléctrica (CE) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Coliformes Totales (CT) Nitrógeno Total (NT) como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Parámetros determinados al agua residual en los tres sitio muestreados.

<b>DETERMINACION</b>	<b>METODO</b>
pH	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica	Conductivímetro
Temperatura	
Sólidos Totales	Gravimétrico
Sólidos Sedimentables	cono imhoff
Sólidos Volátiles	Titulación
Nitrógeno Total	Kjeldahl
Demanda Química de Oxígeno	reflujo dicromato

### 3.5.1.1. Temperatura

La temperatura se determinó en campo con un medidor portátil marca HACH debidamente calibrado, sumergiendo el sensor del instrumento en los sitios de muestreo; estabilizado el contador se tomó la lectura.

#### 3.5.1.2. pH

El pH se determinó en campo con el medidor anterior y el mismo procedimiento.

#### 3.5.1.3. Conductividad Eléctrica

La determinación de Conductividad se realizó midiendo con el realizado en cada punto de muestreo.

#### 3.5.1.4. Sólidos Sedimentables

La determinación de los sólidos sedimentables consideró la Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicado en el Diario Oficial de la Federación 1977.

La concentración de sólidos sedimentables se determina a partir de una muestra homogeneizada y dejándola reposar por un periodo de una hora en el cono Imhoff.

#### 3.5.1.5. Determinación de Sólidos

Con referencia a la Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas- Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación 1981.

- Sólidos Suspendidos Totales. Es el residuo que se obtiene después de haber filtrado una muestra y secado el residuo en una estufa a una temperatura de 110-105 ° C.



- Sólidos Suspendidos Volátiles. Se somete la muestra a ignición por un tiempo específico y a una temperatura de  $550 \pm 50^\circ \text{C}$ .
- Sólidos Totales. Se basa en la medición de un alícuota de muestra sobre una cápsula previamente tarada y su consecutivo secado y cálculo de los sólidos secos ( $105^\circ \text{C}$ ).
- Sólidos Disueltos Totales. Se determinan a partir del filtrado de una muestra.

#### 3.5.1.6. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

El método se basa en una oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable contenida en el agua, en un medio fuertemente ácido con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amónico en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador interno. Haciendo referencia a la Norma Mexicana NMX-AA-030 "Análisis de Agua"- Determinación de demanda química de oxígeno.

#### 3.5.1.7. Determinaciones de Coliformes Totales

Referencia en la determinación Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas-Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Métodos de tubos múltiples de fermentación, publicada en el Diario Oficial de la Federación 1987.

El método se basa en la inoculación de alícuotas de la muestra, diluida o sin diluir, en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa.

### 3.5.1.8. Determinaciones de Nitrógeno

La referencia del método Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el Diario Oficial de la Federación 1980.

Cuando el agua residual llega a la planta de tratamiento trae una cierta cantidad de nitrógeno, al pasar a través de un producto biológico, los microorganismos lo utilizarán como fuente de nitrógeno, por lo anterior la cantidad de nitrógeno deberá disminuir al final del tratamiento. Por lo tanto esta prueba tiene como finalidad determinar el grado de desnitrificación que ocurre en el reactor biológico.

- Nitrógeno Amoniacal. La muestra se ajusta a un pH 10, se destila y el amoníaco liberado se adsorbe sobre una solución de ácido bórico que contiene, además una mezcla de indicadores. La solución recolectada se titula con  $H_2SO_4$  0.02 N.
- Nitrógeno Total. La muestra se somete antes de la destilación a una digestión con ácido sulfúrico y mezcla reactiva de Selenio para que el Nitrógeno, que se encuentra en compuestos orgánicos se transforme a sulfato de amonio y así puede ser destilado y cuantificado siguiendo un proceso similar que en la determinación de nitrógeno amoniacal.

Todas las determinaciones que se realizaron fueron condicionadas por la disponibilidad de reactivos y equipo.

En todos los casos los estudios de laboratorio se realizaron conforme a lo establecido en la normatividad vigente. Así como el uso del Manual de Métodos de Prueba. Escobedo, N.L (ATLATEC, 1997).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En este apartado se discutirán los parámetros analizados, donde se grafican y se obtienen los valores tanto mínimos como máximos; así como también revisar los valores obtenidos durante este trabajo, para los parámetros de calidad del agua residual y su comparación con la Norma Oficial Mexicana correspondiente (NOM-002-SEMARNAT-1996) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

##### 4.1 Parámetros Determinados de Calidad del Agua

Estos parámetros se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Parámetros realizados a las muestras de agua residual en los tres sitios de muestreo.

<b>PARÁMETROS DETERMINADOS</b> (mg.l <sup>-1</sup> )	<b>ENTRADA</b> <sup>3</sup>	<b>SALIDA</b> <sup>4</sup>	<b>SALIDA</b> <sup>5</sup>
Sólidos Totales (ST)	1355	820	880
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	580	60	65
Sólidos Sedimentables (SS)	13	0	0
Temperatura	20	13.20	13.20
pH	8.10	7.18	7.00
Conductividad Eléctrica (CE)	>1100	800	800
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1050	1040	1040
Coliformes Totales (NMP.100ml <sup>-1</sup> )	> 1100	150	290
Nitrógeno Total (NT)	56	16.80	14.56

<sup>3</sup> Entrada (influyente)

<sup>4</sup> Salida (efluente) sin cloración

<sup>5</sup> Salida (efluente) con cloración

## 4.2. Sólidos Totales

El parámetro de sólidos totales no se considera en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996; pero es importante conocerlo porque afecta la presencia de oxígeno en el agua residual. Como se observa en la Figura 6 con un valor máximo en la entrada siendo de  $1355 \text{ mg.l}^{-1}$ , seguido de la salida clorada con  $880 \text{ mg.l}^{-1}$  ya en la salida sin cloro con  $820 \text{ mg.l}^{-1}$ , observando así que tal vez este valor se tendría que mantener de  $820 \text{ mg.l}^{-1}$  no sucede así; lo cual indica que el proceso no es eficiente, es decir la aplicación de Cloro no es un factor para que se afecte el aumento de Sólidos.

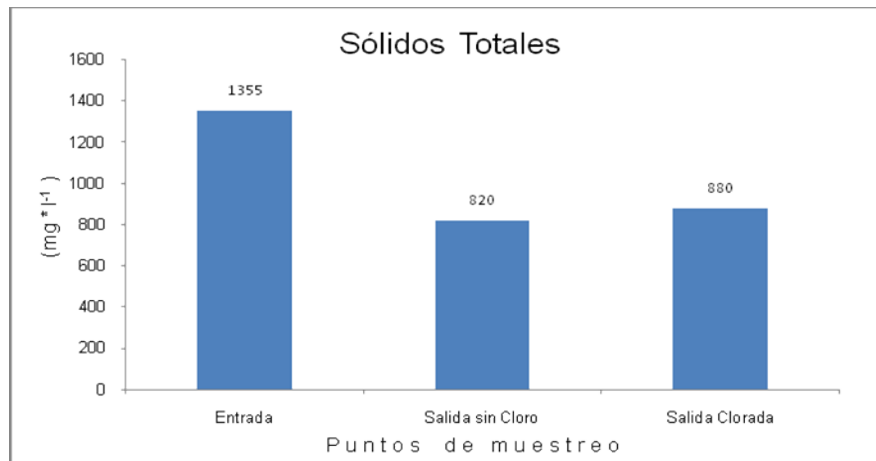


Figura 6. Valores de Sólidos Totales

## 4.3 Sólidos Suspendedos Totales

Se puede observar (figura 7) el contenido de Sólidos Suspendedos Totales presentes en las muestras. De acuerdo a la norma de comparación para este trabajo, no aplica revisando el

contenido se tiene que el sitio uno presenta  $580 \text{ mg.l}^{-1}$  el dos, con  $60 \text{ mg.l}^{-1}$  y el último con  $65 \text{ mg.l}^{-1}$  observando así el aumento para el este último; con este aumento repentino del contenido se dice que el proceso no es eficiente.

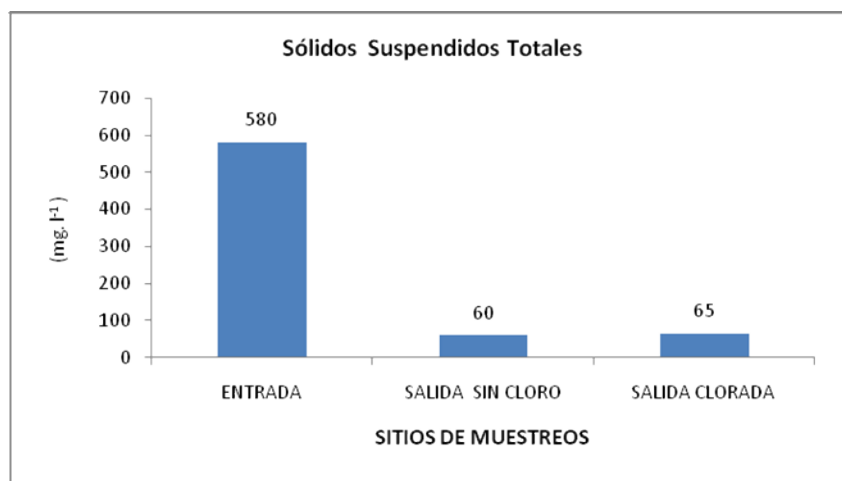


Figura 7. Valores de Sólidos Suspendidos Totales

#### 4.4 Sólidos Sedimentables

En la figura 8 se observa el contenido de Sólidos Sedimentables presentes de las tres muestras. El valor es cero después del tratamiento. Es decir, ya no presenta este tipo de sólidos. En referencia a la NOM-002-SEMARNAT-1996 aplica y el valor de la norma es de  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  en el valor instantáneo, este parámetro si cumple la NOM-002-SEMARNAT-1996.

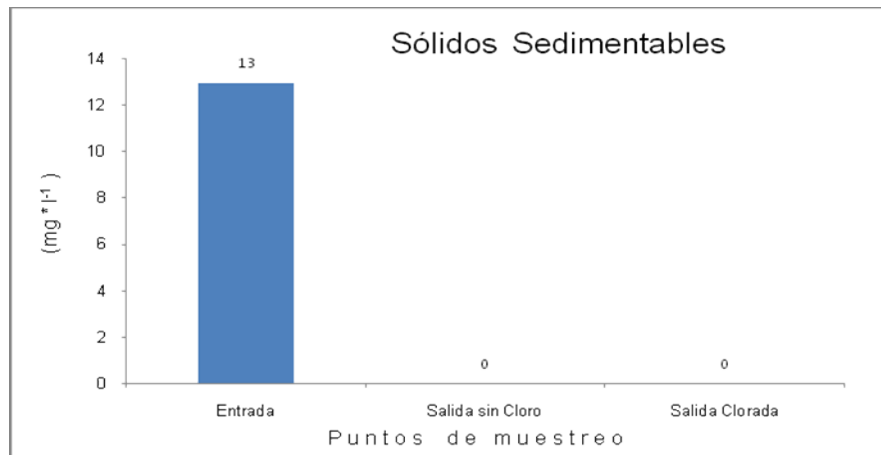


Figura 8. Valores de Sólidos Sedimentables

#### 4.5 Temperatura

La temperatura en las aguas residuales afecta directamente a las reacciones químicas y los procesos biológicos, por lo que es necesario considerarla.

La temperatura aplica en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996; en la entrada con 20°C, bajando el contenido de 13.20°C y manteniéndose igual en la salida con y sin cloro. Observando que se cumple con ella (Figura 9).

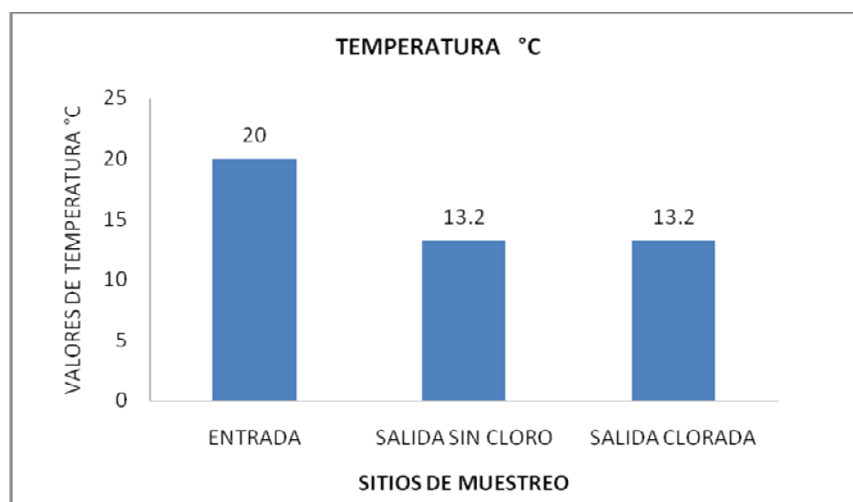


Figura 9. Valores de temperatura de las muestras

#### 4.6 pH

El rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades, lo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Es así que el valor es alto en la entrada con 8.10, bajando a 7.18 en la salida sin cloro; al aplicar el cloro, baja el contenido a 7 unidades. Se encuentra dentro de lo permitido en esta norma (figura 10). Aquí se ve el efecto que tiene la aplicación del Cloro, pues baja este parámetro, de 8.10 a 7 unidades.

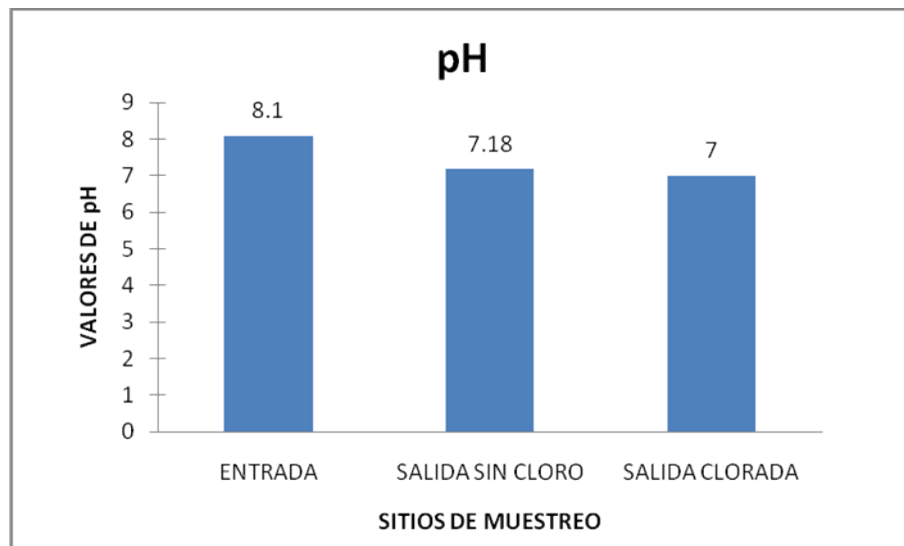


Figura 10. Valores de pH de los sitios de muestreo

#### 4.7 Conductividad Eléctrica

De acuerdo a lo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 no aplica la conductividad eléctrica; ahora comparándola con la norma de Riverside (Richards, L.A

1977) los parámetros se encuentran entre 750 y 2250 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) que significa que es un agua altamente salina (C3) y puede afectar al suelo si no se cuenta con un buen drenaje, en caso de usarse para el riego de cultivos. Siendo que la entrada tiene 1110 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) y con 800 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) con salida con cloro y sin cloro (Figura 11).

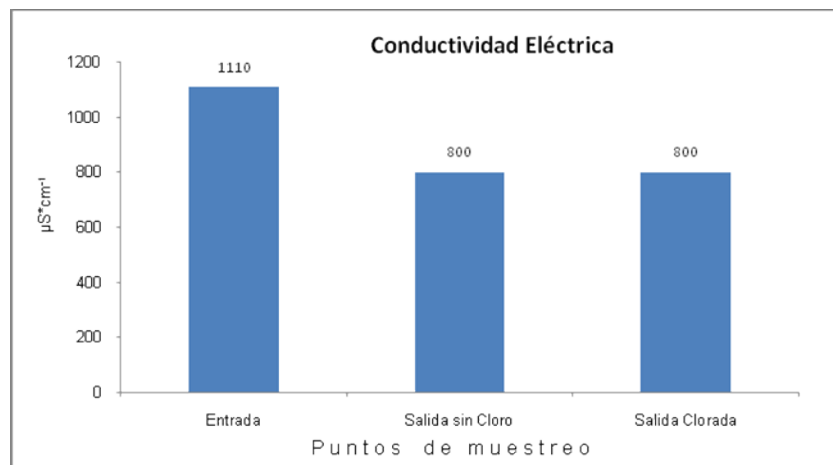


Figura 11. Valores de Conductividad Eléctrica

#### 4.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Haciendo una comparación y de acuerdo a lo que establece la NOM-002-SEMARNAT-1996 la DQO no aplica. Teniendo valores elevados de  $1050 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  en el sitio entrada, y con  $1040 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  en la salida sin y con cloro (Figura 12).



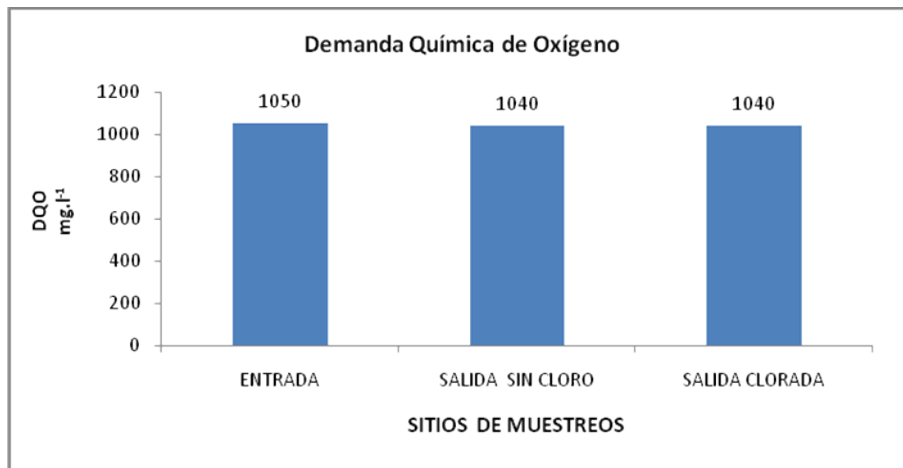


Figura 12. Contenido de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

#### 4.9 Coliformes Totales

Comparando y de acuerdo a lo que establece la NOM-002-SEMARNAT-1996, el número más probable (NMP.100 ml<sup>-1</sup>) de Coliformes Totales no aplica. Tiene su importancia en cuanto a que puede llegar a afectar la salud, en este caso para continuar con su línea de descarga al alcantarillado.

De lo que tenemos en el primer sitio la entrada con >1110, el segundo sitio la salida sin cloro con 150 y el tercer sitio salida con cloro con 290, viendo un aumento de sin Cloro a ya con la aplicación de Cloro, (Figura 13); lo cual indica que el Cloro no está cumpliendo con su función de eliminar los Coliformes Totales; o bien el proceso no es eficiente.

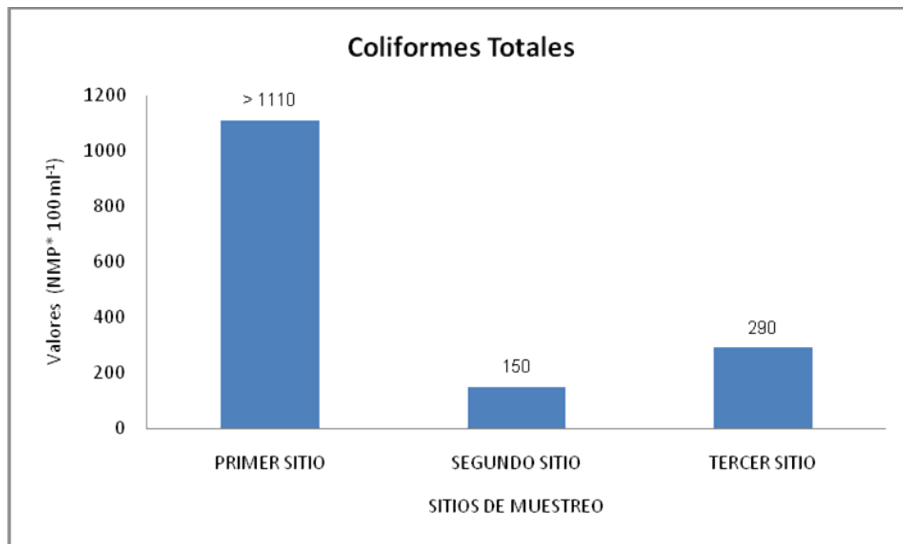


Figura 13. Contenido de Coliformes Totales

#### 4.10 Nitrógeno Total

Haciendo una comparación y de acuerdo a lo que establece la NOM-002-SEMARNAT-1996 no aplica. Dada su importancia de este parámetro en cuanto a la proliferación de algas, lo que disminuye la eficiencia del tratamiento.

Se tiene la entrada con 56 ppm, en la salida sin cloro con 16.8 ppm y el contenido final de 14.56 ppm de Nitrógeno Total (Figura 14).

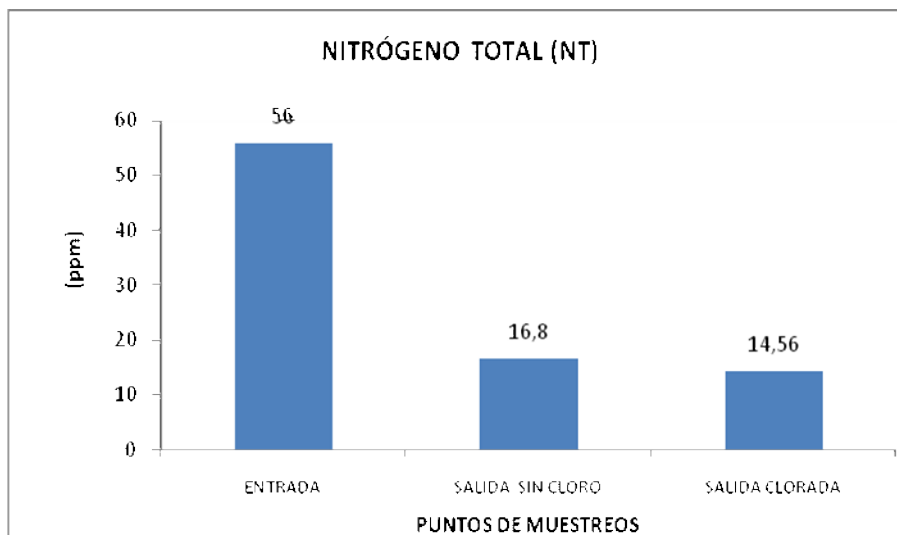


Figura 14. Valores de Nitrógeno Total de los sitios de muestreo.

El análisis de resultados del presente estudio se llevo a cabo mediante una comparación de valores obtenidos en el análisis de los tres sitios de muestreo, en base a los Límites Máximos Permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Comparación y cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996.

PARÁMETROS DETERMINADOS ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	(NOM-002- SEMARNAT-1996)	CUMPLE
Sólidos Totales ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	-----	NO
Sólidos Suspendidos Totales ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	-----	NO
Sólidos Sedimentables ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	10	SI
Temperatura	40° C	SI
Ph	10 y 5.5 unidades	SI
Conductividad Eléctrica	-----	NO
Demanda Química de Oxígeno ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	-----	NO
Coliformes Totales (NMP.100 $\text{ml}^{-1}$ )	-----	NO
Nitrógeno Total (ppm)	-----	NO

Del total de los parámetros considerados; SS, Temperatura y pH, en la NOM-002-SEMARNAT-1996, se cumplen. Mientras que los demás parámetros se analizaron de acuerdo a su importancia en la descarga del agua residual tratada, aún que no hayan sido consideradas por la Norma.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La calidad del efluente de la Planta Tratadora de Agua Residual PTAR-CECFOR cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

El contenido de Sólidos: los Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Sedimentables; con valores de  $1355 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $580 \text{ mg.L}^{-1}$ , y  $13 \text{ ml.L}^{-1}$  respectivamente; resulta de importancia puesto que en su entrada los valores son altos, sin embargo ya después de su tratamiento sus valores se reducen, por lo tanto sí cumplen los Límites Máximos Permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 de ahí su importancia en cuanto a la eficiencia del proceso de tratamiento que se está llevando en la Planta Tratadora.

Dada la importancia de Coliformes Totales, los cuales pueden llegar a afectar la salud humana, se hizo el análisis con la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, ésta no aplica. En cuanto al contenido que tiene de Coliformes Totales ( $\text{NMP.100ml}^{-1}$ ), pues no es posible que luego de aplicar el cloro aumente el contenido de Coliformes de 150 a 290, con su casi 50 por ciento más. Se recomienda revisar el proceso final del proceso, es decir esto se puede deber al manejo que se tiene en la planta por lo que se sigue, hacer un monitoreo en la parte después del clarificador poco antes de la cloración del agua, revisando el manejo del proceso que está llevando la PTAR.

El reúso del agua tratada, con la calidad del agua tratada en caso de requerirse se puede llegar a utilizar para el riego de cultivos con una tolerancia a las sales, obteniendo así otros beneficios financieros para la comunidad.

Con los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir que cumple con el objetivo planteado inicialmente; la determinación de la calidad de descarga del agua residual tratada en la PTAR- CECFOR cumpliendo así con la NOM-002-SEMARNAT-1996.

### Recomendaciones

Es importante recalcar la importancia de realizar el muestreo, de estos tres sitios (entrada, salida con y sin Cloro); es necesario ponerle más atención al último sitio (salida con Cloro)

Revisar la cantidad y la frecuencia de aplicación de Cloro, dado su efecto en cuanto la salida con y sin.

Así como valorar el uso del agua obtenida después del tratamiento. En dado caso se puede usar para el uso de riego, como lo es posiblemente para especies forestales, debido a su tolerancia a sales, con  $800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y así como con buen drenaje.

El manejo del proceso de tratamiento no está funcionando correctamente así que se sigue realizando un mantenimiento de la infraestructura existente siendo de mayor importancia en el Clarificador antes de Clorar en agua.

## VI. LITERATURA CITADA

Bustani, A. 1994. Prevención de la Contaminación. Calidad Ambiental. 3 (2): 4-8 México.

Comisión Nacional del Agua (CNA) 2005. Estadísticas Del agua en México 2005. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales.

Comisión Nacional del Agua (CNA) 2006. Estadísticas Del agua en México 2006. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales.

Comisión Nacional del Agua (CNA) 2008. Estadísticas Del agua en México. Edición 2008. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Crites, R. y G. Tchobanoglous. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones. 1ª edición. Editorial McGraw – Hill- Santa Fe de Bogotá.

Departamento de Sanidad del Estado de New York (1986) Manual de tratamiento de Aguas negras 8ª reimpresión editorial Limusa, México, D.F, 303 pág.

Diario Oficial de la Federación (DOF) 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en agua y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. México D.F

Diario Oficial de la Federación (DOF). 1977. Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas- Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales- Método del cono Imhoff. México D.F

Diario Oficial de la Federación (DOF). 1981. Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas- Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico. México D.F

Diario Oficial de la Federación (DOF). 1987. Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas-Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Métodos de tubos múltiples de fermentación. México D.F

Diario Oficial de la Federación (DOF). 1980. Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl. México D.F.

Fair, G.M. 1993 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales: purificación de Aguas y Tratamiento y remoción de Aguas Residuales. Editorial Limusa.

Lesser, U.J.M. 1996. Estudio geohidrológico de la zona Saltillo – Ramos Arizpe, Coahuila. Comisión Nacional del Agua - Coahuila México.

Márquez, M.E.1973. El medio ambiente. Primera Edición. Fondo de cultura Económica. México 12, D.F. 100 P

Metcalf y Eddy 1996. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3ª edición. Vol. I McGraw Hill. México.



- Millán, D. 2002. Agua el desafío. Agua 1:4 Monterrey México.
- Moscoso C. J. 2002. Aspectos técnicos de la Agricultura con aguas. México D.F.
- Planta Tratadora de Aguas Residuales "Norte" ATLATEC. S.A. de C.V. 1997 Manual de Métodos de Prueba. Escobedo, N.L.
- Ramos, A. 2002. Agua el desafío. Agua 1: 13. Monterrey, México.
- Reynolds, K. A. 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica: identificación del problema. Universidad de Arizona.
- Richards, L.A 1977. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México 1977, pag 75-88.
- Seoáñez, C. M. (a) 1999 Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. 326 P.
- Seoáñez, C. M. (b) 1999. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Colección Ingeniería Medio ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª Edición. Madrid España.