

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPTO. DE RIEGO Y DRENAJE



**CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA PARA USO
AGRÍCOLA DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUA GENERAL
CEPEDA, COAH.**

POR

ERIK ESBEN GONZÁLEZ MORENO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, MÉXICO.

OCTUBRE DE 2016.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPTO. DE RIEGO Y DRENAJE

CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA PARA USO AGRÍCOLA DE LA
PLANTA TRATADORA DE AGUA GENERAL CEPEDA, COAH.

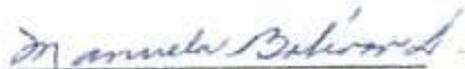
POR

ERIK ESBEN GONZÁLEZ MORENO

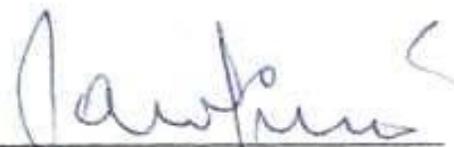
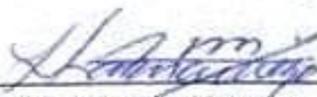
TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN



Dra. Manuela Bolívar Duarte
Asesor Principal


Dr. Vicente de Paul Álvarez Reyna
Asesor
Ing. Rolando Sandino Salazar
Asesor
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"
Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, México
Octubre de 2016

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y de la misma manera fortalecer los valores adquiridos en casa, por darme las herramientas necesarias para ser una persona de bien.

Al departamento de Riego y Drenaje y sus profesores que fueron parte del forjamiento de mi aprendizaje, gracias por ayudar a que mi sueño se haga realidad.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte por su confianza depositada en mí para realizar este trabajo, así como su apoyo y conocimientos compartidos a lo largo de la carrera.

Al Ing. Rolando Sandino S. y al Dr. Vicente de Paul Álvarez R. por su apoyo y asesoría para la realización de este trabajo.

A Cesar Maya por su incondicional apoyo y grandes aprendizajes juntos, a Rudy de la Torre, Arturo Gómez, Elizabeth Hernández., Francisco Arguello, Rogelio Cruz por su infinito apoyo en todo momento que lo necesite y aun en los momentos que no.

A mis compañeros y amigos de la generación CXLX y CXX con los que conviví la mayor parte de mis clases y que sin duda dejaron mucho aprendizaje en mí, y disculpa por no mencionarlos a todos, no acabaría! Pero sin duda grandes recuerdos.

A las personas con las que no compartí clase pero si mucho tiempo Aracely T., Alfredo J.,

A todos muchas Gracias!!!

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño para mis papás

Abundio González Juárez y Teresa Moreno Cordero...

Por ser mí ejemplo a seguir. Los amo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
RESUMEN	VII
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO	2
2.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 SITUACIÓN MUNDIAL DEL AGUA.	3
2.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO.	4
2.2.1 AGUA RENOVABLE.	4
2.2.2 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL.	5
2.2.3 AGUAS SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA.....	5
2.2.4 USOS DEL AGUA EN MÉXICO.	6
2.2.5 PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.....	7
2.2.6 DESCARGA DE AGUA RESIDUAL.....	8
2.3 EL AGUA RESIDUAL.....	9
2.4 PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.....	10
2.4.1 USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA	11
2.4.2 VENTAJAS DEL USO DE AGUA TRATADA EN EL RIEGO AGRÍCOLA.....	12
2.4.3 DESVENTAJAS DEL USO DE AGUA TRATADA EN EL RIEGO AGRÍCOLA	12
2.5 PROBLEMAS DE SALUD PÚBLICA.....	13
2.6 NORMATIVIDAD DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA	13
2.7 NORMATIVIDAD VIGENTE	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 UBICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO	16
3.2 PARTICULARIDADES DE LA PTAR.....	17

3.3 MUESTREO.....	17
3.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS	18
3.5 DETERMINACIÓN DE LABORATORIO	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	28
6. MEMORIA FOTOGRÁFICA.....	30
7. BIBLIOGRAFÍA.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial normal	5
Figura 2. Grado de presión sobre el recurso hídrico en México.....	8
Figura 3. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales en México (CONAGUA, 2014)	9
Figura 4. Micro ubicación de la PTAR General Cepeda.....	16
Figura 5. Esquema de la PTAR General Cepeda.....	17
Figura 6. Gráfica de aforo de la PTAR.	21
Figura 7. Gráfica comportamiento del pH.	22
Figura 8. Gráfica de la Conductividad Eléctrica.	23
Figura 9. Gráfica de Sólidos Sedimentables.....	23
Figura 10. Gráfica Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales Volátiles y Sólidos Suspendidos Volátiles.	24
Figura 11. Gráfica de Sólidos Suspendidos Totales.	25
Figura 12. Gráfica Demanda Bioquímica de Oxígeno.	25
Figura 13. Gráfica Número Más Probable de coliformes fecales.	26
Figura 14. Gráfica de contenido de grasas y aceites.	26
Figura 15. Gráfica de la Demanda Química de Oxígeno	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de extracción de agua por continente (FAO, 2015)	3
Tabla 2. Usos agrupados en el REPDA.	6
Tabla 3. Volumen destinado para usos según el origen del agua.	7
Tabla 4. Volumen de agua residual generada y tratada para el año 2013 (CONAGUA, 2014).	8
Tabla 5. Operaciones, procesos y sistemas de tratamiento para remover los principales contaminantes presentes en el agua residual (Noyola, <i>et al.</i> 2000).	10
Tabla 6. Límite de contaminantes permisibles en la NOM-003-SEMARNAT-1997	15
Tabla 7. Características organolépticas del muestreo.....	22

RESUMEN

La reutilización de aguas residuales tratadas en el área agrícola es una práctica cada vez más recurrente, debido a diversos factores como lo son: la escases y sobre explotación de este vital líquido, la prioridad que se le da al sector doméstico o industrial del uso de agua limpia sobre el sector agrícola, así como a la gran cantidad de agua sucia que se generan día con día. Sin embargo, el uso de aguas residuales en sector agrícola debe de cumplir con diversos parámetros los cuales aseguran que esta agua no sea dañina tanto para las personas que manejan estas aguas como para los cultivos y suelos regados con las mismas.

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de General Cepeda, Coah. para determinar la calidad agrícola de estas aguas, bajo los parámetros de la NOM-003-SEMARNAT-1997, comparando los resultados obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje y el Laboratorio de la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS) del estado de Coahuila, teniendo como resultado que el agua de esta PTAR no cumple con los parámetros de la norma, por lo cual se deben de gestionar ciertas adecuaciones en la PTAR para el uso de estas aguas.

Palabras clave: Aguas residuales, PTAR, calidad agrícola.

1.- INTRODUCCIÓN

La población mundial está creciendo a una tasa de aproximadamente 1,2% al año y se espera que aumente a 9 000 millones en el año 2030 (Winpenny, *et al.* 2013). Proporcionar agua a estas personas será un gran desafío. El agua no sólo es esencial para el consumo humano directo en hogares, si no para producir alimentos y productos manufacturados necesarios para vivir y mejorar el estándar de vida.

La prioridad en el uso del agua dulce es y seguirá siendo el uso humano, para satisfacer las necesidades de la población y comunidades, delegando a segundo término el uso agrícola a el cual se ha desmeritado y desprestigiado su importancia debido a los altos volúmenes de agua que consume.

La creciente población disminuye la cantidad de agua destinada a la agricultura e incrementa la cantidad de agua residual generada por las poblaciones, a la cual se le debe de dar un adecuado manejo para que no cause afectación grave en el ambiente.

Una opción viable para reponer o aprovechar esta agua es tratarla y reusarla en la agricultura, actividad que demanda ciertos parámetros que por ley se deben cumplir. Difícilmente el agua residual cumplirá con estas características sin que sea previamente tratada. Las opciones de tratamiento son variados pero el objetivo es el mismo: bajar los contaminantes contenidos en el agua para poder ser utilizada en la agricultura, sin que esta agua afecte el suelo, subsuelo o agua subterránea.

En el presente trabajo analizaremos las características de la planta tratadora de aguas residual (PTAR) del municipio de General Cepeda y se determinara la calidad del agua al final del tratamiento la cual debe de cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997 la cual establece los límites permisibles de contaminantes que debe contener el agua que va a estar en contacto directo e indirecto con el público.

1.1 OBJETIVO

- Determinar la calidad del agua de la PTAR de General Cepeda, Coah. según la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Definir si el agua tratada en la PTAR es apta para uso agrícola.

2.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SITUACIÓN MUNDIAL DEL AGUA.

Se calcula que en el planeta tierra cuenta con 1 386 millones de kilómetros cúbicos de agua, cantidad que no ha variado sensiblemente a lo largo de la historia (SINA, 2014). Sin embargo, el 97.5% del agua en el planeta es salada, y un 2.5% es agua dulce, de la cual la mayor parte se encuentra concentrada en glaciares, nieve y hielo. Solamente el 0.007% del agua existente es agua dulce accesible para el uso humano directo, la cual ha visto reducida su calidad año con año debido a que esta se contamina.

La FAO distingue tres tipos principales de usos de agua: agrícola, municipal (incluyendo la domestica), e industrial. A nivel mundial, las proporciones de la extracción total son aproximadamente de 69% agropecuaria, 12% municipal y 19% industrial. Estos números varían a nivel mundial, la importancia de la extracción de agua agrícola depende en gran medida del clima y lugar que ocupa la agricultura en la economía local (FAO, 2015). La tabla 1 muestra las proporciones de extracción de agua por continente.

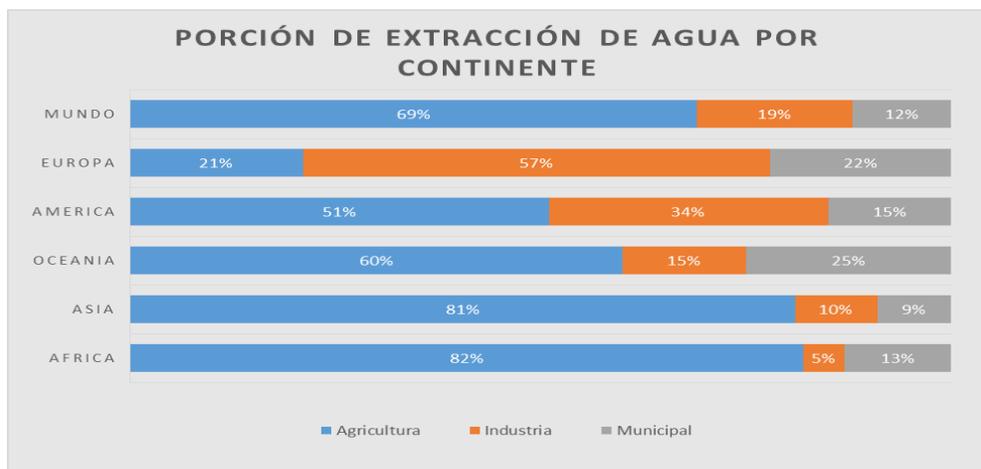


Tabla 1. Porcentaje de extracción de agua por continente (FAO, 2015)

2.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO.

México es un país contrastante en cuanto a disponibilidad del agua, mientras que la región norte del país (50% del territorio nacional) apenas llueve el 25% del agua precipitada en el país, en la parte sur (27.5% del territorio nacional) cae la mayor parte de la lluvia (49.65%) y la parte restante se distribuye en el centro del país (Agua.org.mx).

En México existe una gran variedad de climas. La zona noroeste y centro del país, cubriendo dos terceras partes del territorio, se considera árida o semiárida, con precipitación anual menor a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con una precipitación promedio que supera los 2 000 mm por año.

Existen factores que determinan el clima de nuestro país. Por su ubicación geográfica, la porción sur de México se encuentra en la zona intertropical del globo terráqueo, en tanto que la porción norte se localiza en la zona templada. Nuestro país se ubica a la misma latitud que los desiertos del Sahara y Árabe. En segunda instancia están los accidentes geográficos que caracterizan el relieve de nuestro país. La ubicación geográfica y relieve inciden directamente sobre la disponibilidad del recurso hídrico (CONAGUA, 2014).

2.2.1 AGUA RENOVABLE.

Anualmente México recibe alrededor de 1 489 000 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. Se estima que el 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera. El 22.2% escurre por ríos y arroyos, donde adicionalmente se tienen entradas y salidas con los países vecinos. El 6.2% restante se infiltra y recarga los acuíferos. Considerando las entradas y salidas de agua con países vecinos, se cuenta con 471.5 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable al año, a lo que se denomina también disponibilidad natural media (Atlas, 2014).

2.2.2 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL.

La precipitación normal es el promedio calculado de un periodo uniforme con al menos 30 años de registro de información. En el periodo 1971-2000, la precipitación normal promedio del país fue 760 milímetros anuales. La distribución espacial es bastante irregular, como se muestra en el mapa (Atlas, 2014).

En la mayor parte de nuestro país, la precipitación normal ocurre entre los meses de junio y septiembre, con excepción de la Península de Baja California, donde se presenta principalmente en el invierno.

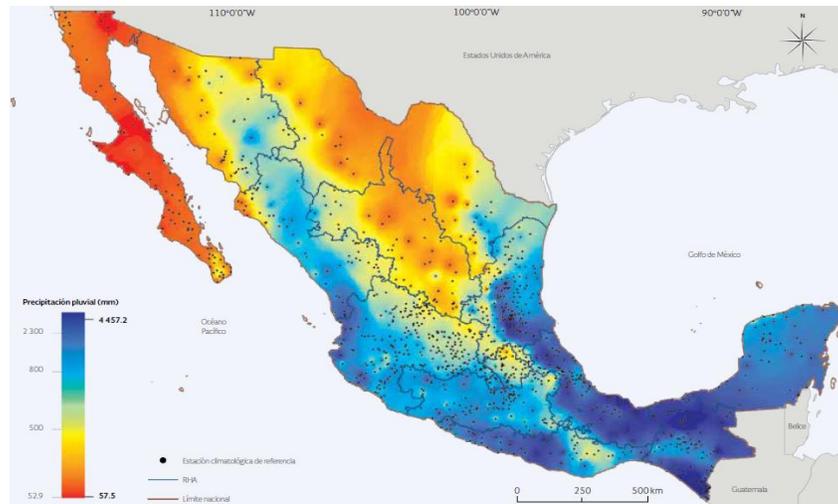


Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial normal

2.2.3 AGUAS SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA.

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, donde se destacan cincuenta ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país.

Los principales lagos de México (Chapala, Cuitzeo, Pátzcuaro, Yuriria, Catemaco, Dr. Nabor Carrillo y Tequesquitengo) logran almacenar hasta 10 410 hm³.

El agua subterránea desempeña un papel de ascendente importancia en el crecimiento socioeconómico del país, gracias a sus características físicas que les permiten ser aprovechada de manera versátil, pues funciona como presa de almacenamiento y red de distribución, siendo posible extraer agua en cualquier época del año de prácticamente cualquier punto de la superficie del acuífero. Funcionan además como filtros purificadores, preservando la calidad del agua.

La importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. Alrededor del 37% del volumen total concesionado para uso consuntivo (30 374 millones de m³ por año al 2013), procede de agua subterránea (CONAGUA, 2014).

2.2.4 USOS DEL AGUA EN MÉXICO.

El agua es empleada de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicios.

En el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) se tiene clasificados los usos del agua en doce rubros. En la tabla 2 se presenta el uso agrupado, que distingue también si el uso es consuntivo o no.

Uso agrupado	Consuntivo/ No consuntivo	Rubros de clasificación del REPDA
Agrícola	Consuntivo	Agrícola, acuicultura, pecuario, usos múltiples, otros usos
Abastecimiento público	Consuntivo	Doméstico, público urbano
Industria autoabastecida	Consuntivo	Agroindustrial, servicios, industrial, comercio
Energía eléctrica	Consuntivo	Industrial
Hidroeléctrico	No Consuntivo	Hidroeléctricas

Tabla 2. Usos agrupados en el REPDA.

En la tabla 3 se observa que el rubro que mayor volumen de agua utiliza es el de la agricultura, seguida del abastecimiento público, ocupando entre estos dos el 90% del agua destinada para los diferentes usos consuntivos.

Uso agrupado	Origen		Volumen total (miles de millones de m ³)	Extracción
	Superficial (miles de millones de m ³)	Subterráneo (miles de millones de m ³)		
Agrícola	41.04	20.78	61.82	75.72
Abastecimiento público	4.74	7.22	11.96	14.65
Industria autoabastecida	1.41	1.93	3.34	4.09
Energía eléctrica excluyendo hidroeléctrica	4.09	0.44	4.53	5.55
Total	51.28	30.37	81.65	100

Tabla 3. Volumen destinado para usos según el origen del agua.

Como se muestra, el 51.8% del agua utilizada para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que el 30.37% restante corresponde a fuentes subterráneas (acuíferos).

2.2.5 PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.

El porcentaje que representa el agua empleada en usos consuntivos respecto a su disponibilidad es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región. Si el porcentaje es mayor al 40%, entonces se ejerce una fuerte presión sobre el recurso.

A nivel nacional, México experimenta un grado de presión del 17.3%, lo cual se considera de nivel moderado; sin embargo, las zonas centro, norte y noroeste del país experimentan un grado de presión fuerte, como se puede apreciar en el mapa siguiente (CONAGUA, 2014).



Figura 2. Grado de presión sobre el recurso hídrico en México.

2.2.6 DESCARGA DE AGUA RESIDUAL.

La descarga de agua residual se clasifica en municipal e industrial. La municipal corresponde a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado urbano y rural, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida.

Los volúmenes de la generación de agua residual de los centros urbanos así como de los usos no municipales se muestran en la siguiente tabla (CONAGUA, 2014).

Centros urbanos (descargas municipales)		
Aguas residuales	7.26	miles de hm ³ /año (230.2 m ³ /s)
Se recolectan en alcantarillado	6.66	miles de hm ³ /año (211.1 m ³ /s)
Se tratan	3.34	miles de hm ³ /año (105.9 m ³ /s)
Se generan	1.96	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se recolectan en alcantarillado	1.80	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	0.73	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Usos municipales, incluyendo a la industria		
Aguas residuales	6.63	miles de hm ³ /año (210.26 m ³ /s)
Se tratan	1.91	miles de hm ³ /año (60.72 m ³ /s)
Se generan	9.95	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	1.30	millones de toneladas de DBO ₅ al año

Tabla 4. Volumen de agua residual generada y tratada para el año 2013 (CONAGUA, 2014).

En el año 2013, existían 2 287 plantas tratadoras de agua residual en operación a lo largo del país, las cuales trataban 105.9 m³/s, es decir el 50.2% del agua recolectada en los sistemas de alcantarillado (211.1 m³/s). Los principales procesos de tratamiento se encuentran en la gráfica siguiente (CONAGUA, 2014).

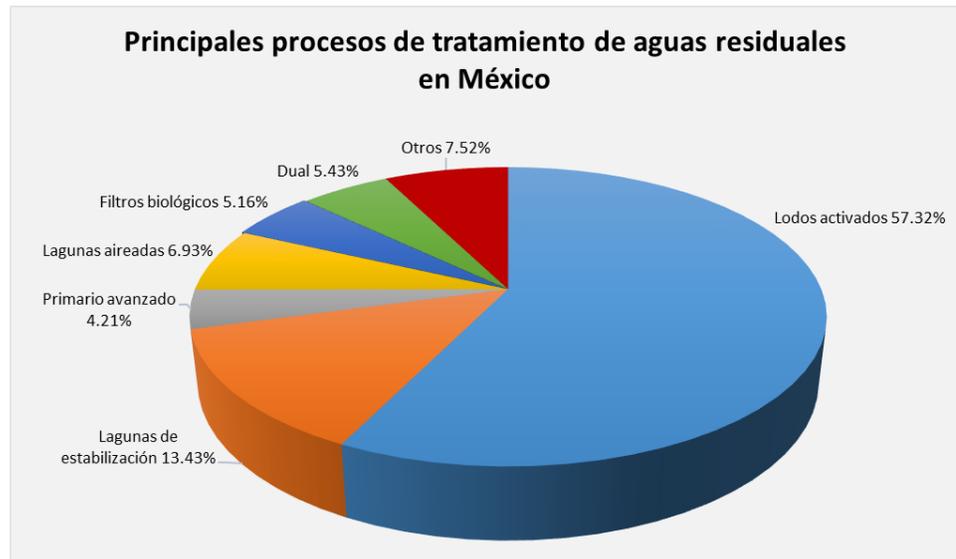


Figura 3. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales en México (CONAGUA, 2014)

2.3 EL AGUA RESIDUAL

Hay que considerar que todas las aguas naturales contienen varios contaminantes que provienen de la erosión, lixiviación y los procesos de degradación a la intemperie. A esta contaminación natural se agrega aquella causada por el agua residual de origen doméstico o industrial, que por lo común se eliminan descargándolas, por ejemplo, en el mar, en estratos subterráneos o, más comúnmente, en agua superficial (Tomasini, 2009).

Además de su vertido a agua superficial, también esta agua residual puede ser desalojada por descarga en aguas subterránea, de forma directa mediante inyección en pozos profundos o indirecta por percolación, o por evaporación a la atmósfera.

Cualquiera que sea la forma de eliminación final utilizada, los efluentes deben tratarse previamente hasta por lo menos, un nivel equivalente al del tratamiento

secundario de manera que se cumpla con la legislación vigente y no altere negativamente el ecosistema donde se descarga (Tomasini, 2009).

2.4 PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

A través de los años, se han desarrollado una gran variedad de métodos para el tratamiento del agua residual. En muchos casos, se combinan varios procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y el grado que se debe alcanzar (Tomasini, 2009).

Los principales contaminantes presentes en el agua residual y los procesos más comúnmente empleados para su remoción se resumen en la tabla 5.

TRATAMIENTO	PROCESO O SISTEMA DE TRATAMIENTO	TIPO DE PROCESO
Sólidos suspendidos	Cribado y desmenuzado	F
	Sedimentación	F
	Flotación	F
	Filtración	F
	Coagulación/Sedimentación	Q/F
Orgánicos Biodegradables	Lodos activados	B
	Filtro percolador	B
	Discos biológicos rotatorios	B
	Lagunas aireadas	B
	Lagunas de oxidación	F/B
	Filtración de arena	B/Q/F
	Físico/químico	F/Q
Patógenos	Cloración	Q
	Ozonización	Q
Nutrientes	Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida	B
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija	B
Nitrógeno	Arrastre con amoníaco	Q/F
	Intercambio iónico	Q
	Cloración en el punto de quiebre	Q
Fosforo	Coagulación/sedimentación con sales metálicas	Q/F
	Coagulación/sedimentación con cal	Q/F
	Remoción bioquímica	B/Q
Orgánico refractarios	Absorción con carbón activado	F
	Ozonización	Q
Metales pesados	Precipitación química	Q
	Intercambio iónico	Q
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio iónico	Q
	Ósmosis inversa	F
	Electrodialisis	Q

F=Físicos, Q=Químicos, B=Biológicos

Tabla 5. Operaciones, procesos y sistemas de tratamiento para remover los principales contaminantes presentes en el agua residual (Noyola, *et al.* 2000).

El principal objetivo del tratamiento del agua residual es producir un efluente que puede ser descargado sin causar daños al medio ambiente. Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos y biológicos.

Actualmente se utilizan procesos combinados para el tratamiento del agua residual, como la coagulación-floculación que involucra procesos químicos y físicos. Una de las ventajas es que mediante este tipo combinado de procesos se logran remociones de 80 a 90% del total de la materia suspendida, del 40 al 70% de DBO₅, 30 al 60% de DQO, y 80 a 90% de bacterias, con respecto a la cantidad de sólidos coloidales presentes en el agua residual (Cisneros, *et al.* 2001).

Los procesos físico químicos, por lo general, son aplicados en aguas con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica no biodegradable; los procesos biológicos se usan cuando los contaminantes son biodegradables. En éstos, la materia orgánica es usada como alimento de las bacterias que la degradan. La desinfección es usada en el tratamiento de agua residual y potabilización.

2.4.1 USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

El uso en la agricultura de agua tratada es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas crecientes y con una mayor demanda de agua de riego.

Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficit hídrico. Esto se debe al crecimiento de la demanda de agua frente a un recurso hídrico estático o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. El déficit hídrico también se produce por la contaminación provocada por el agua residual de ciudades en expansión, muchas de las cuales solo han sido tratadas de manera parcial, y de la contaminación de los acuíferos por diversas fuentes. Dicha contaminación del agua empeora los efectos de la escasez, al reducir la cantidad de agua segura para el consumo. La escasez de agua en todos sus aspectos conlleva graves costos económicos, sociales e incluso políticos (Winpenny, *et al.* 2013).

En tiempos de escasez extrema, las autoridades nacionales suelen optar por derivar el agua de los agricultores hacia las ciudades, dado que el agua tiene mayor valor económico en su uso industrial y urbano que en el agrícola. En estas circunstancias, el uso de agua tratada en la agricultura permite conservar agua dulce para un fin de mayor valor económico, social y, al mismo tiempo los agricultores reciben un suministro de agua fiable y rico en nutrientes. Este intercambio también acarrea posibles beneficios ambientales, al permitir la asimilación de los nutrientes del agua residual por las plantas y reducir así la contaminación del agua subterránea.

El uso de agua tratada puede ayudar a mitigar los efectos negativos de la escasez del agua a nivel local. No es la única opción para lograr un mejor equilibrio entre la oferta y la demanda, pero en muchos casos es una solución costo-eficaz, como lo demuestra el creciente número de sistemas de reutilización en diferentes partes del mundo.

La agricultura es el usuario principal de agua tratada y, siendo utilizada para este propósito en alrededor de 50 países, en 10% de todas las tierras de regadío (Winpenny, *et al.* 2013).

2.4.2 VENTAJAS DEL USO DE AGUA TRATADA EN EL RIEGO AGRÍCOLA

La principal ventaja del empleo de agua residual en riego agrícola es la presencia de elementos como N y P, que no se encuentran en el agua de primer uso, y que son necesarios para los cultivos. Estos elementos, además del K, Ca, Mg, y S son considerados como macronutrientes de los cuales las plantas requieren grandes cantidades para desarrollarse (Thompson, 1988).

2.4.3 DESVENTAJAS DEL USO DE AGUA TRATADA EN EL RIEGO AGRÍCOLA

En términos generales, el uso continuo de agua residual para riego sin ningún tipo de control puede ocasionar problemas ambientales tales como: la contaminación del suelo y del agua subterránea, fitotoxicidad, pérdida de suelo por salinización e

incidencia de maleza y plagas. Además, representa un riesgo a la salud pública por el contenido de microorganismos patógenos y toxinas (Bradford, 2002). Por lo anterior, su uso en agricultura y tratamiento en el suelo debe practicarse con medidas de seguridad adecuadas.

2.5 PROBLEMAS DE SALUD PÚBLICA.

La descarga de agua residual se ha hecho sin considerar las condiciones del medio donde se ha realizado, siendo el vertimiento directo a los cuerpos de agua superficial (ríos, lagos y mares) y al suelo los métodos de evacuación de agua residual más comunes en la mayoría de ciudades. Sin embargo, estas prácticas no respetan las regulaciones municipales o los estándares de calidad para el agua de riego, representando problemas ambientales y riesgos para la salud.

Los riesgos para la salud pública producto de un mayor uso de agua tratada son un serio obstáculo para generalizar el uso de esta práctica. Los riesgos asociados con el consumo de productos regados con agua residual incluyen agentes patógenos provenientes de la materia fecal y algunas sustancias químicas tóxicas. Se puede recurrir a una serie de medidas de protección sanitaria para reducir los riesgos para la salud de los consumidores, trabajadores y sus familias, así como a las comunidades locales (Winpenny, *et al.* 2013).

2.6 NORMATIVIDAD DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Debido a la necesidad de conciliar las diferentes demandas de los recursos hídricos, la mayoría de los países tienen leyes para controlar la contaminación, conservar y, tal vez mejorar, la calidad del agua (Tomasini, 2009).

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se establecen las bases normativas referentes al medio ambiente. El desarrollo en torno al derecho ambiental mexicano se puede observar en tres etapas:

- Conservación y Regulación de los Recursos Naturales (1917-1970)
- Prevención y Control de la Contaminación (1971-1981)
- Legislación Ambiental vigente (1982 a la fecha)

Dentro de la última etapa se promulgaron cuatro leyes que actualmente constituyen la base de la normativa para el control de la contaminación:

- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1988)
- Ley de Aguas Nacionales (1992 y 2004)
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización (1992)
- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (1997)

En la Ley de Aguas Nacionales, se definen los organismos que harán la gestión integral del agua (la Comisión Nacional del Agua y los Organismos de Cuenca)

La normatividad que se encuentra vigente desde 1993 hasta la actualidad, con sus diversas modificaciones a través de los años, se encuentran dentro de la “Ley federal sobre Metrología y Normalización”; dentro de la cual se analizaron y aprobaron 44 NOM en materia de control de descarga de aguas residuales en el periodo de 1993-1994.

En forma general, las 44 normas elaboradas fueron suficientemente estrictas para garantizar la protección de los cuerpos receptores en términos globales y obligaban la aplicación de tratamiento de las descargas industriales a niveles económicamente aceptables para las industrias, limitaban la descarga de algunos contaminantes específicos y característicos para los efluentes de determinadas industrias, restringían el uso de agua residual sin tratamiento en la agricultura y la descarga de lodos de plantas de tratamiento al alcantarillado municipal (Tomasini, 2009).

2.7 NORMATIVIDAD VIGENTE

NOM-001-SEMARNAT-1996 (ANTES “ECOL”). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual en agua y bienes nacionales.

NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el agua residual tratada que se reúsen en servicios al público (SEMARNAT, 2014).

En el punto 1 de “Especificaciones” de la NOM-003-SEMARNAT-1997 se presentan los límites máximos permisibles de contaminantes en agua residual tratada destinadas para servicios al público con contacto directo y para servicios con contacto indirecto u ocasional tabla 6.

TIPO DE REUSO	PROMEDIOS MENSUALES				
	COLIFORMES FECALIS NMP/100 ml	HUEVOS DE HELMINTO h/l	GRASAS Y ACEITES mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
SERVICIO AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	<1	15	20	20
SERVICIO AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCACIONAL	1,000	<5	15	30	30

Tabla 6. Límite de contaminantes permisibles en la NOM-003-SEMARNAT-1997

Sobre estos indicadores determinaremos la calidad del agua en la PTAR ubicada en el Municipio General Cepeda, Coahuila, Apoyándonos en el Laboratorio de Calidad de Agua del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) así como de los resultados obtenidos por el laboratorio de la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila (CEAS).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

La toma de muestras para el presente trabajo de investigación se realizó en la planta tratadora de agua residual que se encuentra ubicada en el municipio de General Cepeda, Coah. La toma de muestras se ejecutó en el punto final de la descarga del agua residual de la localidad, a 60 metros de distancia de la PTAR donde se juntan con el agua que no alcanzó a ser tratada por la planta, con coordenadas $25^{\circ}22'58.8''$ N y $101^{\circ}28'44.63''$ O.



Figura 4. Micro ubicación de la PTAR General Cepeda.

3.2 PARTICULARIDADES DE LA PTAR

La planta tratadora de agua residual de General Cepeda cuenta con un sistema de lodos activados con aireación, comúnmente utilizado en corrientes de agua provenientes de uso doméstico, está diseñada para tratar hasta 8 lps de agua residual. Dicha planta lleva 12 años en funcionamiento, debido a esto cuenta con algunas restricciones para funcionar adecuadamente. En la figura 5 podemos observar un plano general de la planta de General Cepeda.

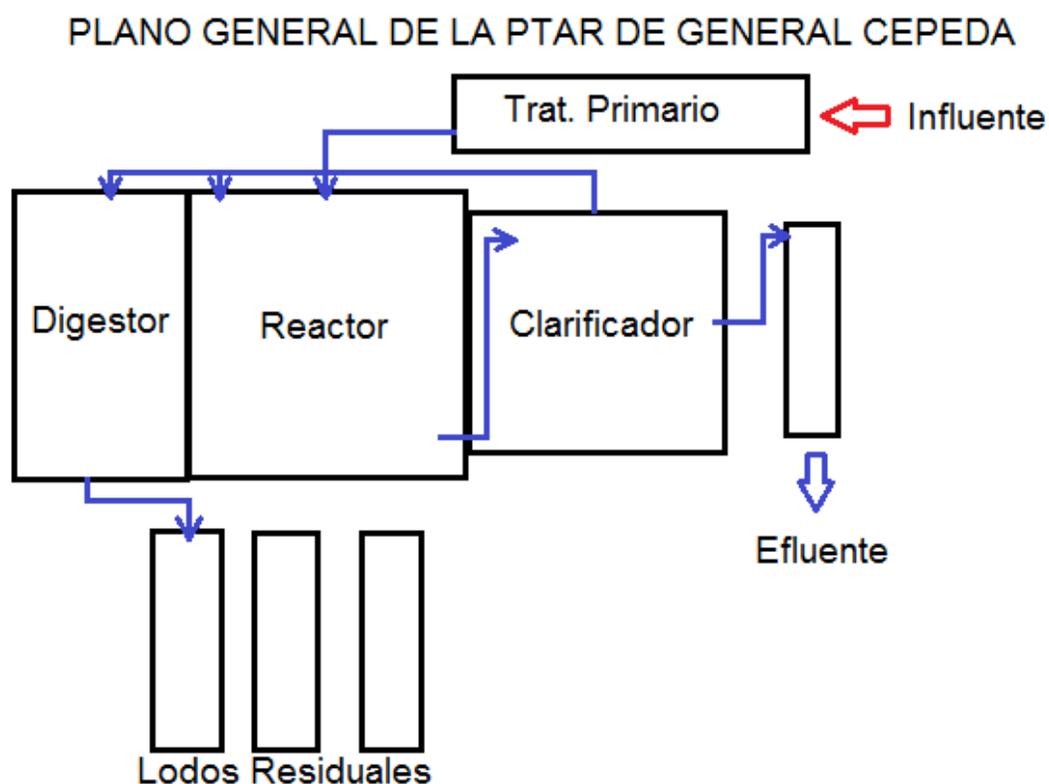


Figura 5. Esquema de la PTAR General Cepeda.

3.3 MUESTREO

En la toma de muestras de agua de la planta General Cepeda se siguieron las especificaciones de la NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales – Muestreo

Se utilizó un automuestreador SIGMA 900 MAX, el cual fue calibrado y programado, según sus especificaciones de instalación, para tomar los datos de: gasto

(lps), tirante (cm) y velocidad (m/s) del flujo del agua residual tratada, dichos datos se registraron en intervalos de 15 minutos durante 24 horas, iniciando el 03 de diciembre de 2015 a las 15:00 horas.

Las muestras fueron tomadas manualmente con un recipiente de 10 litros de capacidad, posteriormente las muestras fueron incorporadas en su contenedor final con capacidad de 2.5 litros, previamente lavado y enjuagado con la misma agua recolectada, este proceso se inició el 03 de diciembre de 2015 a las 15:00 horas y finalizando el 04 de diciembre de 2015 a las 11:00 horas, con intervalos de tiempo entre muestreos de 4:00 horas, para obtener un total de 6 muestras puntuales.

3.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

En la identificación de las muestras se emplearon etiquetas en cada uno de los envases con la información del lugar y hora en que fue tomada la muestra, asimismo se rellenó la hoja de los datos obtenidos en campo que contenía la siguiente información:

- Número de muestra
- Hora de muestreo
- pH
- Conductividad eléctrica
- Temperatura del agua
- Materia flotante
- Características organolépticas
- Sólidos sedimentables
- Oxígeno disuelto
- Gasto (lps)
- Tirante (cm)
- Velocidad (m/s)

El número de muestra se asignó de acuerdo al orden y hora en que esta se tomó (cada cuatro horas), empezando con la muestra uno a las 3:00 pm y continuando con la muestra de las 7:00 como la número dos, y así sucesivamente hasta la muestra número 6 de las 11:00 de la mañana del día 4 de diciembre de 2015. La muestra número siete fue tomada directamente del efluente de la PTAR General Cepeda.

Los parámetros de pH y conductividad eléctrica fueron medidos directamente del recipiente en el que se recolectaba la muestra de la alcantarilla, apenas unos minutos después de haberla obtenido, el aparato utilizado fue el HANNA HI 991300

La temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos en el mismo recipiente en el cual se medían pH y temperatura, previo a que el agua fuera colocada en los recipientes para trasladar a el laboratorio de calidad de agua de la UAAAN, utilizando el medidor de oxígeno modelo HANNA HI 9146.

Las características organolépticas son aquellas que alteran el estado de pureza del agua que es incolora, insípida y sin color.

Los sólidos sedimentables se determinaron in situ, utilizando un cono Inhoff de un litro de capacidad, dejando reposar la muestra por 30 minutos para después agitar suavemente los lados del cono con un agitador, dejando reposar por 20 minutos más y posteriormente realizar la medición de los sólidos sedimentados en ml/l.

Los datos de gasto, tirante y velocidad del caudal del agua residual de la población de General Cepeda fueron obtenidos del automuestreador SIGMA 900 MAX.

Las muestras fueron conservadas y transportadas en hieleras al Laboratorio de Calidad de Agua del Departamento de Riego y Drenaje para la determinación de los parámetros restantes.

3.5 DETERMINACIÓN DE LABORATORIO

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Sólidos Totales (ST), Sólidos Totales Volátiles (STV) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) fueron determinados según los parámetros de la metodología que marca la NMX-AA-034-SCFI-2001 (análisis de agua, determinación de sólidos y sales Disueltas en aguas naturales, residual y residual tratada).

La determinación de Coliformes totales y Coliformes fecales se realizó según la metodología correspondiente de acuerdo a la NMX-AA-42-1987 calidad del agua determinación del número más probable (nmp) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *escherichia coli*.

Determinación de DBO₅ se llevó a cabo por medio del procedimiento indicado por la NMX-AA-028-SCFI-2001 análisis de agua - determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residual (DBO₅) y residual tratada.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Para determinar este parámetro se realizó procedimiento señalado por la NMX-AA-030-SCFI-2001 Análisis de agua determinación de Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residual y residual tratada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Las mismas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS) del estado de Coahuila, conformaron una muestra compuesta y una muestra puntual del efluente, y se compararon con los resultados obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Agua de la UAAAN.

Los datos de aforo obtenidos por el automuestreador SIGMA 900 MAX fueron graficados como se puede ver en la figura 6, observando que el gasto máximo fue a las 11:00 de la mañana con 12.7 lps, durante la madrugada de 4:00 a 6:00 am se observaron los valores con menor flujo de agua residual tratada, siendo las 5:15 am cuando se tuvo 0.05 lps siendo este el menor caudal registrado durante el aforo.

El nivel del flujo, que es la altura del tirante del agua, mantuvo la tendencia del gasto a lo largo del experimento, debido a su estrecha relación entre estos dos parámetros, ya que la velocidad se mantuvo entre 0.2 y 0.4 m/s.

El diseño de la PTAR es para 8 lps, por lo que durante ciertos lapsos del día no es suficiente para tratar el agua que se genera en este municipio.

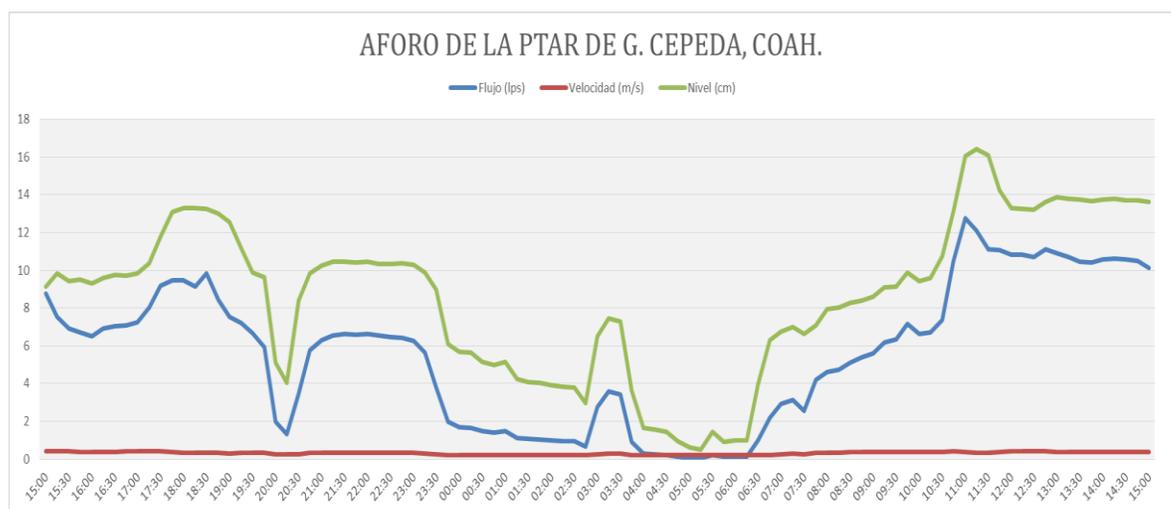


Figura 6. Gráfica de aforo de la PTAR.

Las características organolépticas afectan la pureza del agua. En nuestras muestras se observó la temperatura, color, olor, turbidez y la presencia de materia flotante las cuales mostraron propiedades comunes de las aguas residuales, como se puede observar en la tabla 7.

Características Organolépticas						
Hora del muestreo	15:00	19:00	23:00	03:00	07:00	11:00
Temperatura °C	28	20.2	18.8	15	17.8	26
Color	color gris					
Olor	fetido	fetido	fetido	fetido	fetido	fetido
Turbidez	media	media	media	media	media	media
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente

Tabla 7. Características organolépticas del muestreo.

El pH se podría decir que es neutro ya que se encuentra entre 7 y 7.42 (figura 7), sin embargo esta en los límites tolerables de las plantas ya que la mayoría de los cultivos se desarrollan mejor con valores de pH entre 6.0 - 6.5.

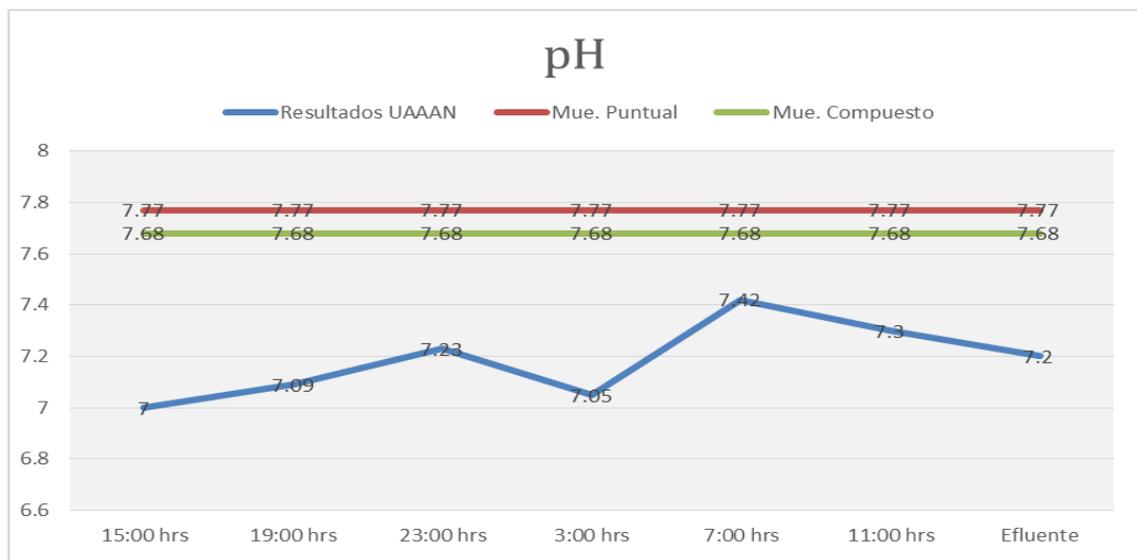


Figura 7. Gráfica comportamiento del pH.

La conductividad eléctrica (CE) del agua pura presentara bajos valores de este parámetro, los cuales aumentan con la presencia de sales disueltas en el agua. Como se

puede ver en la figura 8, las muestras se encuentran entre los 2000 y 4000 μS , lo que nos indica un agua ligeramente salina.

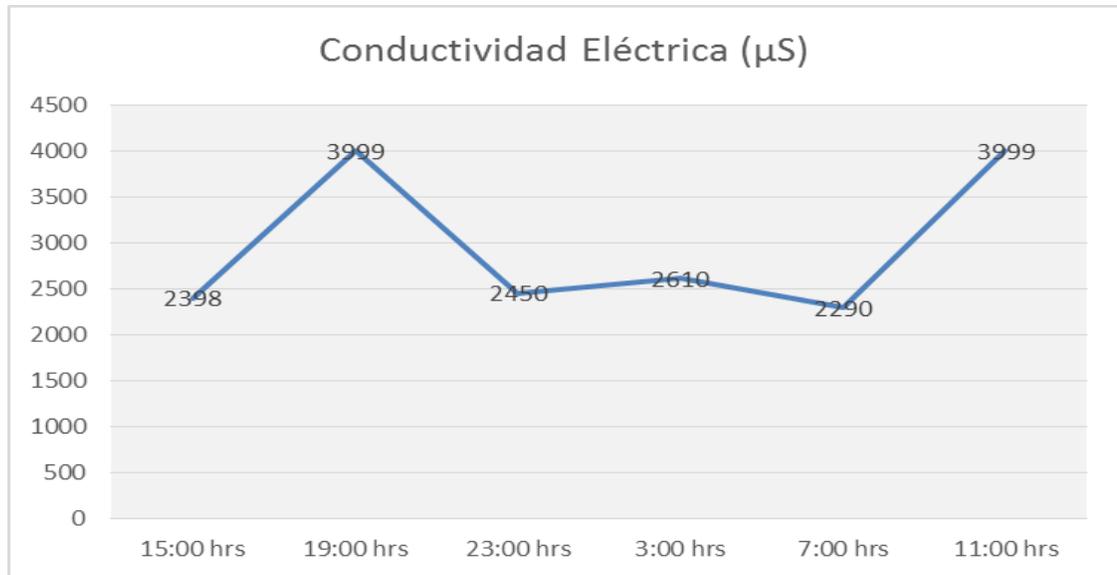


Figura 8. Gráfica de la Conductividad Eléctrica.

Los Sólidos Sedimentables variaron durante la toma de muestras, empezando con 6.5 ml/l en la primera muestra, siendo esta la más turbia, hasta quedar completamente en 0 ml/l en la muestra de las 7:00 hrs., pudiendo haber sido afectado el resultado por el bajo caudal conducido durante las horas previas a la toma de esta muestra. Los resultados obtenidos por el laboratorio de CEAS fueron de 0.8 y 0.1 ml/l como se observa en la figura 9.

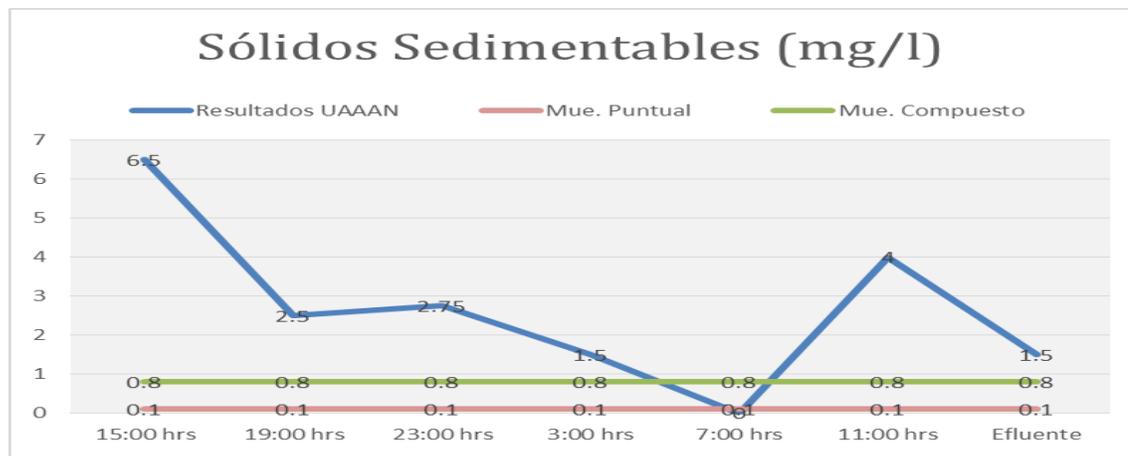


Figura 9. Gráfica de Sólidos Sedimentables.

Los resultados de sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos volátiles y sólidos disueltos totales se pueden observar en la figura 10. La línea superior de sólidos totales muestra la tendencia que siguieron estos parámetros, ya que de este se derivan los demás sólidos (STV, SSV, SDT). La primera muestra tomada es en la que se presenta la mayor presencia de sólidos con 2145 mg/l, de ahí van disminuyendo y luego hay un ligero aumento en la muestra fina. El efluente muestra el agua con menor contenido de ST con 1510 mg/l.

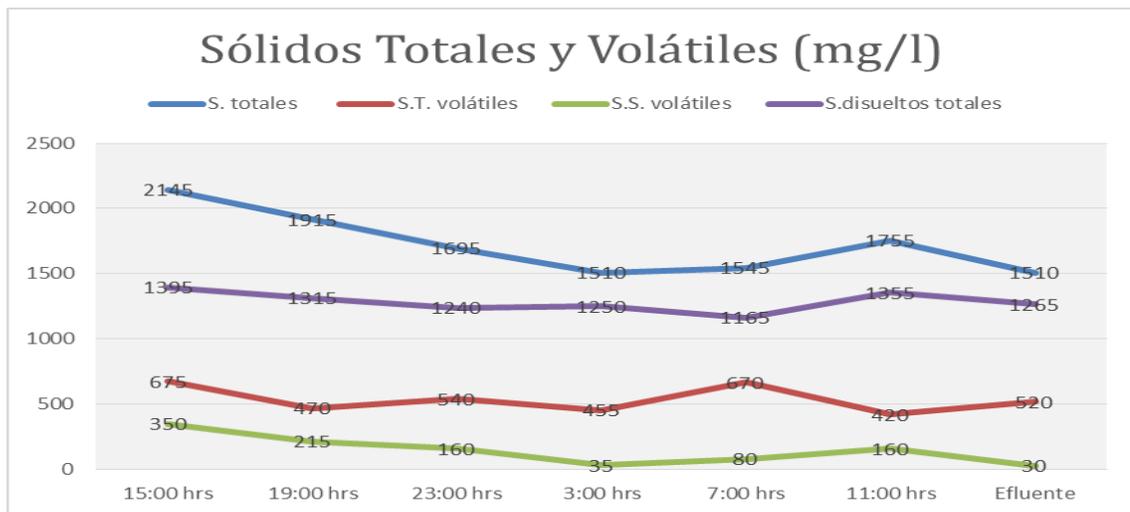


Figura 10. Gráfica Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales Volátiles y Sólidos Suspendidos Volátiles.

Los resultados de los sólidos suspendidos totales, que es el primer parámetro de la NOM-003-SEMARNAT-1997, los podemos observar en la figura 11, donde podemos ver que siguen la misma tendencia que la de los sólidos sedimentables. Teniendo la mayor concentración en la primera muestra que fue de 475 mg/l y siendo las 3:00 am cuando se tuvo la menor concentración de sólidos suspendidos totales con 45 mg/l. El límite de la norma se establece en 20 mg/l, y los resultados obtenidos por CEAS en la muestra compuesta están por arriba del límite con 240 mg/l, mientras que la muestra del efluente de la PTAR si muestra una disminución, pero quedando por arriba del límite con 77 mg/l.

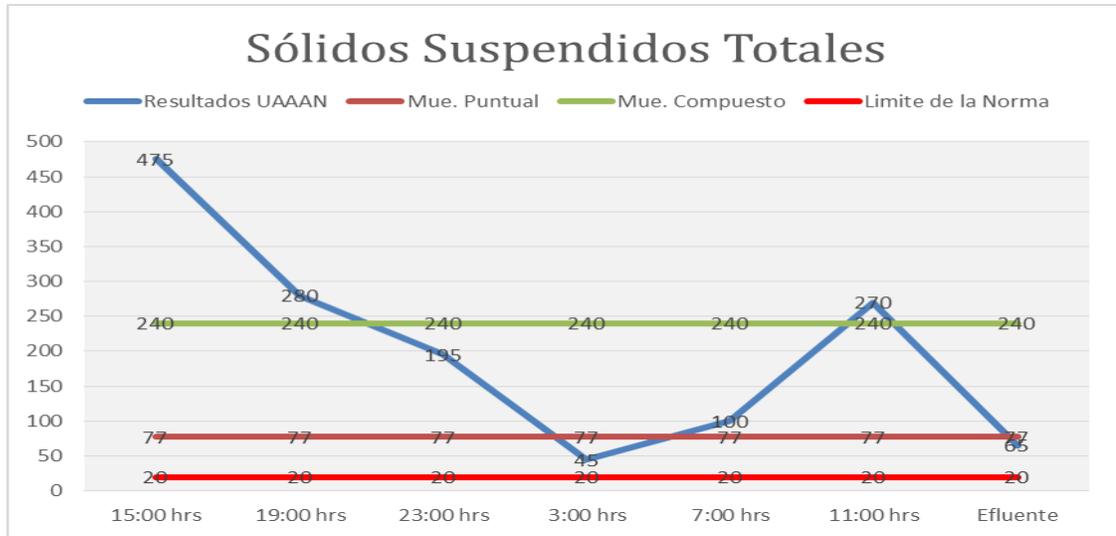


Figura 11. Gráfica de Sólidos Suspendidos Totales.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) mostrada en la figura 12, en el cual se observa que en las primeras muestras se contiene mayor cantidad de materia orgánica, por la cual existe una mayor demanda de oxígeno, y esta va en disminución con el transcurso del muestreo siendo el de las 7:00 am con 163 mg/l la menor demanda obtenida, sin ser suficiente para cumplir con la norma ya que en ella se piden 20 mg/l. En los resultados del laboratorio de CEAS de la muestra compuesta y de la muestra puntual tampoco cumplen con la norma.

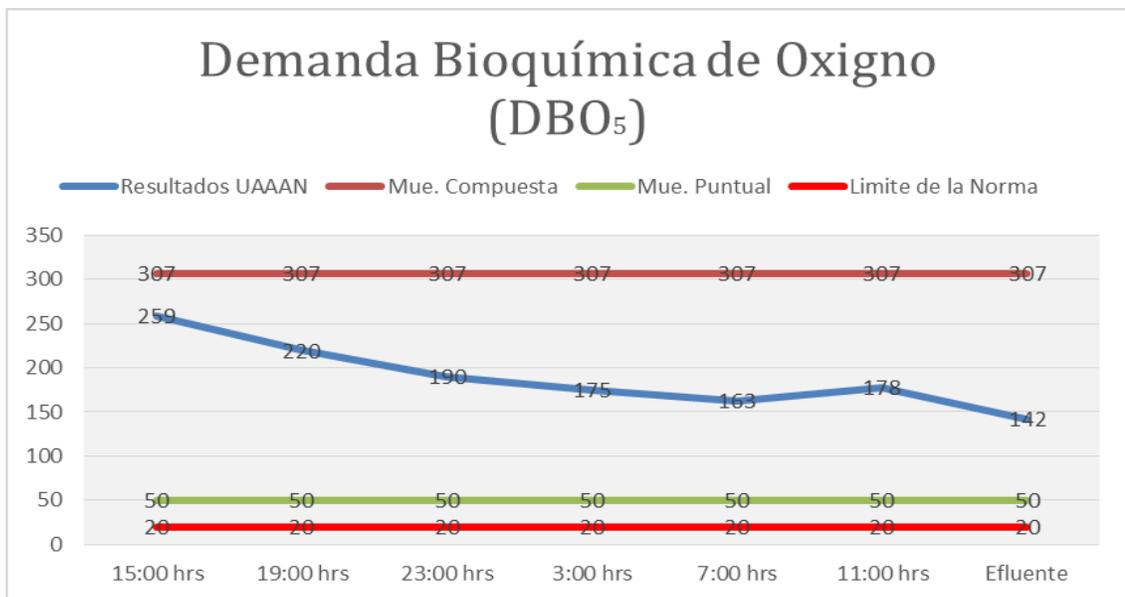


Figura 12. Gráfica Demanda Bioquímica de Oxígeno.

El número más probable (NMP) para coliformes fecales que fue obtenido en el laboratorio se encuentra por arriba de lo que requiere la norma, ya que se establece en 240 de NMP para uso con contacto directo y 1 000 NMP para uso de agua con contacto indirecto.

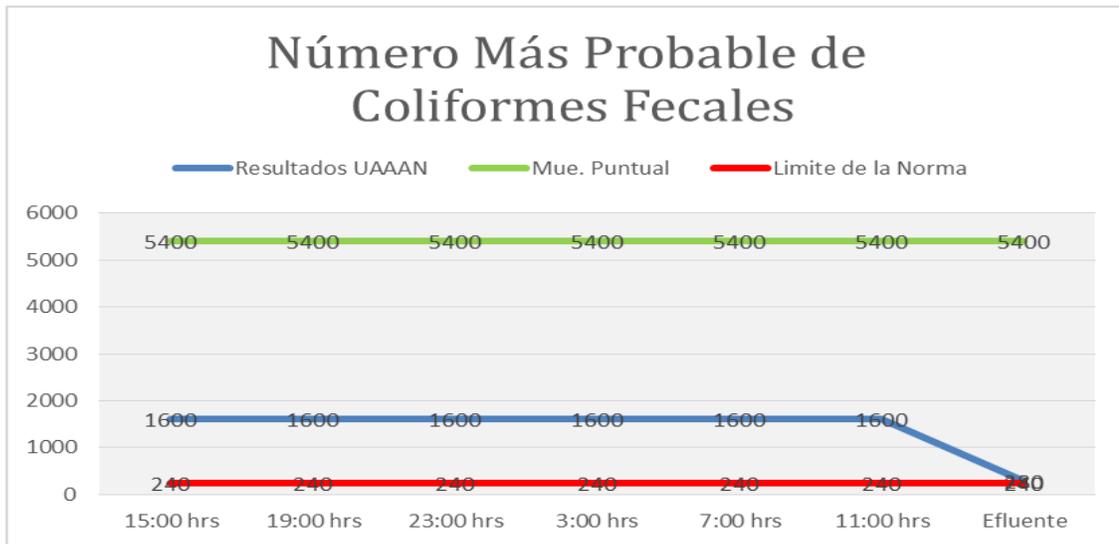


Figura 13. Gráfica Número Más Probable de coliformes fecales.

El resultado de las grasas y aceites se observan en la figura 14. Este parámetro fue analizado por el laboratorio de CEAS y el cual muestra que está por debajo de lo establecido en la norma, siendo este el único resultado positivo de las muestras analizadas en el laboratorio de aguas residuales de la UAAAN.

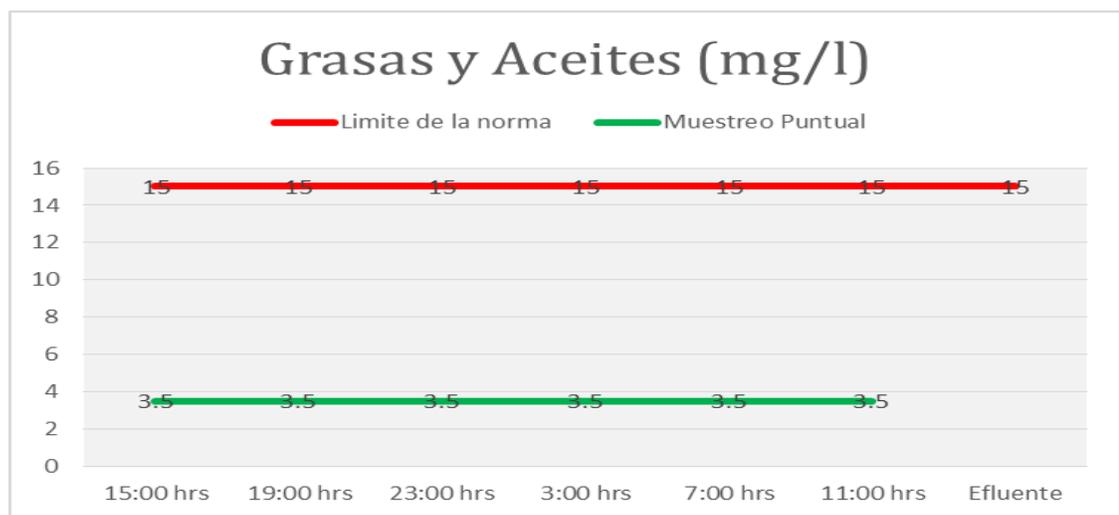


Figura 14. Gráfica de contenido de grasas y aceites.

Los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se encuentran en la figura 15. Aunque no es un parámetro de las Norma, debido a su importancia este fue analizado en laboratorio, aquí podemos ver la variación de la demanda química de oxígeno, siendo en la muestra de las 3:00 hrs. donde se presentó la mayor demanda.

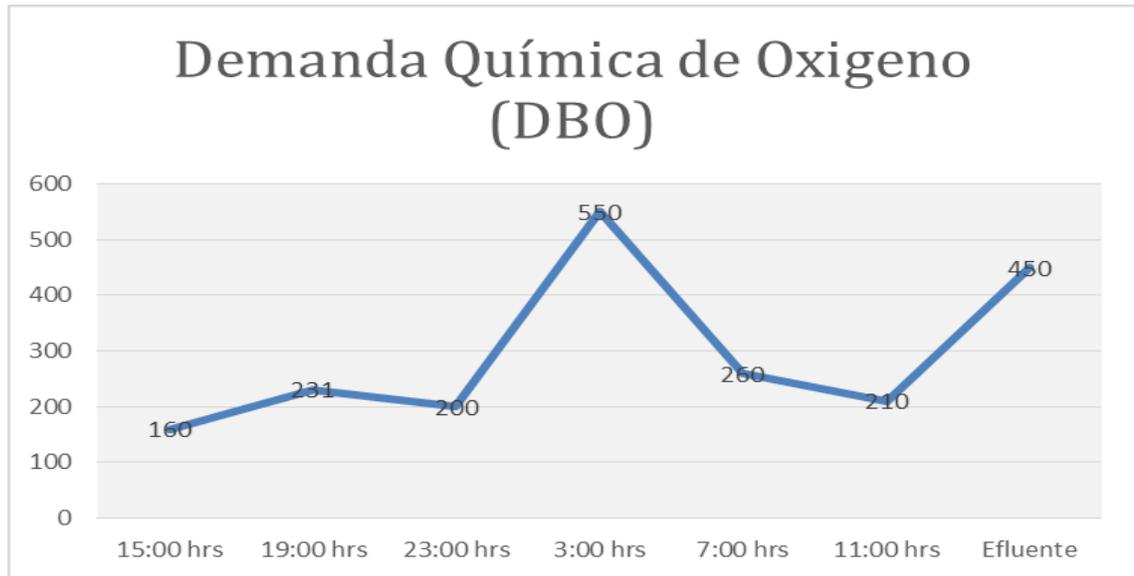


Figura 15. Gráfica de la Demanda Química de Oxígeno

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de haber finalizado los análisis correspondientes se llega a la conclusión de que las muestras obtenidas y analizadas del efluente de la PTAR del municipio de General Cepeda de manera general se encuentra fuera de los límites establecido por la NOM-003-SEMARNAT-1997, tanto para el uso directo como el uso indirecto del agua por lo que no se recomienda que sea utilizada como agua de riego, ya que sólo cumple con uno de los cinco parámetros establecidos en la norma (grasas y aceites).

El diseño de la PTAR fue hecho para tratar 8 lps aproximadamente, actualmente se pueden observar flujos de aguas residuales de hasta 12.77 lps lo cual es insuficiente para dar tratamiento a todas las aguas sucias que se generan en el municipio, por lo que la calidad del tratamiento se ve severamente disminuida al mezclar las aguas tratadas con las no tratadas.

Los valores de pH y CE, agrícolamente hablando, son tolerables, aunque en conjunto pudiera causar un ligero aumento en la salinidad del sustrato (suelo) donde sean aplicadas las aguas tratadas causando problemas con la disponibilidad de algunos nutrientes que no son fácilmente asimilables en valores cercanos a 8 de pH como lo son el fósforo, hierro, zinc, manganeso y cobre.

En cuanto a los valores obtenidos para los Sólidos (ST, STV, SSV, SDT, SST) podemos ver que este conjunto sigue la misma tendencia a lo largo de las diferentes pruebas lo que indica un buen análisis en el laboratorio. Para el caso particular de los ST podemos ver que el efluente muestra los mismos valores (1510 mg/l) que la muestra tomada a las 3:00 am, debido a que el agua que circula a esa hora es el caudal adecuado que puede ser tratado por la planta, sin que hubiera aguas residuales sin tratar.

Los valores de DQO y DBO muestran una vez más que la concentración de materia orgánicamente degradable, en las aguas residuales tratadas, son elevados ya que estos resultados son casi 10 veces sobre lo permitido en las NOM-003-semarnat-1997.

Las aguas residuales tratadas en la PTAR cuentan con un alto contenido de coliformes fecales lo que podría causar ciertas infecciones a las personas que manejen estas aguas sin el debido cuidado.

Algunas recomendaciones para la planta serian: evaluar la opción de hacer modificaciones a la PTAR para que ésta pudiera tratar volúmenes más grandes y así poder cubrir el 100% de las aguas residuales generadas por el municipio. Utilizar para el riego solamente el agua que pasó por los procesos de tratamiento, sin juntarla con el agua cruda, lo que mejoraría la calidad de dicha agua.

6. MEMORIA FOTOGRÁFICA.

Selección del punto de muestreo e instalación del equipo auto muestreador SIGMA 900 MAX.



Toma de datos para la calibración del equipo SIGMA 900 MAX para la toma de datos de gasto, nivel del caudal y velocidad del flujo.



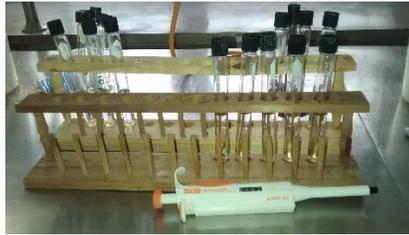
Toma de muestras



Lectura de datos de campo (solidos sedimentables, pH, CE y características organolepticas).



Determinaciones de laboratorio (solidos totales, coliformes y DQO₅)



7. BIBLIOGRAFÍA.

Agua.org.mx. Página web:

http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=section&id=6&Itemid=300004

ATLAS. 2014. Atlas del Agua en México 2014, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales & Comisión Nacional del Agua. México 2014.

Cisneros, 2001; J. González Meras; C. Fuentes Ruiz. Perspectiva de aprovechamiento de las aguas residuales en la agricultura. IMTA, diciembre de 2001.

CONAGUA. 2014. ESTADISTICAS DEL AGUA EN MEXICO edición 2014, Comisión Nacional del Agua. México.

FAO. 2015. Sitio web AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Accedido en 2015/11/30.

García, G 2015. Calidad Agrícola del Agua Residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Dulces Nombres, Pesquería, N. L. Tesis de Licenciatura UAAAN.

SEMARNAT. 2014. NORMAS OFICIALES MEXICANAS, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SINA, 2014. NUMERAGUA MEXICO 2014. Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, uso y conservación del Agua. México 2014

Thompson, 1988. Louis M. Thompson. Los Suelos y su Fertilidad. Editorial Reverte.

Tomasini, 2009. Cecilia Tomasini. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados. Módulo de Aspectos generales de tratamiento de aguas residuales, contaminación del agua y su control. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Séptima edición. Julio de 2009.

Winpenny, 2013. I. Heinz; S. Koo-Oshima. Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma 2013.