

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Variación de la Calidad del Agua en su Trayecto por el Arroyo La Encantada

Por:

JUAN ANTONIO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre del 2017

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

Variación de la Calidad del Agua en su Trayecto por el Arroyo La Encantada.

Por:

JUAN ANTONIO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título del:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Samaniego Moreno
Asesor Principal




Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
Coasesor




Dr. Jorge Méndez González
Coasesor
Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



M.C. Aarón Saín Melendres Álvarez
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División Ingeniería


Coordinación de la División
de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre del 2017

AGRADECIMIENTOS

A mi **Alma Mater** por haberme dado la oportunidad de ser parte de esta gloriosa y noble institución, y convertirme en Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

Al **Departamento de Riego y Drenaje** por haberme brindado las herramientas necesarias para mi formación académica y ser un lugar donde forje grandes amistades.

A mis **Profesores** porque todos y cada uno de ellos fueron participes en mi formación, gracias por haber compartido sus experiencias y conocimientos.

A mis **Asesores** por su apoyo y disponibilidad prestada en el procesamiento, interpretación y revisión de la información necesaria para realizar este trabajo que representa el fin de una etapa más en mi vida profesional.

Al **Dr. Luis Samaniego Moreno** por haber sido un excelente profesor y un buen amigo, por darme la oportunidad de trabajar con usted, por la confianza brindada y por todo el apoyo que me proporciono en la realización de este proyecto de tesis.

A mis Compañeros de la **Generación CXXII**, por su amistad y apoyo. Les deseo mucho éxito en su vida profesional y personal.

A mis amigos **José Alejandro (Bambi)**, **Alexis Laynes**, **Gabriel Arias (Orejitas)**, **Ady Monzon (primo)**, **José Luis (Nomio)**, **Diego**, **José vaquero**, sin duda conocerlos resulta ser algo muy grato para mí y han dejado huella, gracias por formar parte de mi vida, por aguantarme, y estar conmigo en momentos felices y tristes. Estoy seguro que seguiremos en contacto.

A **Luz O.** por ser una persona importante para mí y por apoyarme siempre en las buenas y en las malas.

DEDICATORIAS

Con todo el amor a mis padres.

A mi padre **Justino Hernández Ortiz**, siempre te has esforzado por darnos todo lo que estuvo a tu alcance, has hecho tantos sacrificios por mis hermanos y por mí que no tengo palabras para agradecerte. Siempre has sido y serás mi modelo a seguir.

A mi madre **Ana Sánchez Hernández**, tu que siempre estuviste al pie del cañón respetando a mi papa y apoyándolo, admiro tu fortaleza y tenacidad espero algún día recompensarte tantas noches de desvelo y las preocupaciones que algún día te hice y te sigo haciendo pasar.

Este pequeño logro se los dedico a ustedes mi motor en la vida, no tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí, porque a pesar de las adversidades de la vida nunca me faltó nada, porque sin ustedes no sería nada, les debo todo lo que hasta hoy he logrado, siempre han creído en mí y me han apoyado incondicionalmente a pesar de mis errores y tropiezos, siempre estuvieron a mi lado brindándome su amor y cariño.

A mis hermanos **Saúl, Yeni, Justino, Ana, Bertha, Mayra, y Lucí** gracias por su apoyo y por su comprensión, le doy gracias a la vida por haberme dado unos hermanos tan maravillosos, espero nunca nos distanciamos y siempre convivamos de la mejor manera, nos tenemos el uno a otro y siempre será así lo quiero mucho hermanos.

Me gustaría agradecer en especial a **Yeni** por sus regaños que ahora me doy cuenta que es por el bien de uno. **Justino, Ana, Tita, Bude**, no encuentro palabras para expresar el agradecimiento por todo lo que me han apoyado y sé que más de alguna vez se quitaron algo para dármelo a mí no saben cómo se los agradezco, espero y Dios me permita regresarles un poco de lo mucho que me han dado somos ocho, y en verdad no saben cuánto los amo.

A mi cuñado **Orlando**, por apoyarme cuando se me han puesto difíciles las cosas de todo corazón se lo agradezco y le doy gracias a dios por poner un hombre como el, en el camino de mi hermana.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE CUADRO	viii
RESUMEN	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	3
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 El agua en México	4
2.2 Disponibilidad de Agua en México.....	4
2.3 Tratamiento de Agua en México	6
2.4 Reúso de Agua en México	7
2.5 Calidad del Agua.....	7
2.5.1 Parámetros Físicos.....	8
2.5.2 Parámetros Químicos	11
2.5.3 Parámetros Biológicos.....	12
2.6 Muestreo de Aguas Residuales	14
2.7 Tipos de Muestreo	15
2.7.1 Muestreo Manual	15
2.7.2 Muestreo Automático.....	16
2.7.3 Muestreo Mixto	16
2.8 Tipos de Muestras	17

2.8.1 Muestra Simple.....	17
2.8.2 Muestra Completa	17
3. Materiales y Métodos.....	18
3.1 Descripción del sitio de estudio.	18
3.1.2 Flora	19
3.1.3 Fauna	20
3.2 Saltillo	22
3.2.1 Topografía	22
3.2.2 Orografía	22
3.2.3 Edafología	23
3.2.4 Geología	23
3.2.5 Fisiografía	23
3.2.6 Tipo de vegetación	23
3.2.7 Uso del suelo	24
3.3 Planta tratadora de aguas residuales de Saltillo	24
3.4 Información general sobre la planta tratadora de aguas residuales principal Saltillo	24
3.5 Tipo del tratamiento del caudal	25
3.6 Planta tratadora de aguas residuales de Ramos Arizpe	25
3.7 Ubicación de la Planta Tratadora de Aguas Residuales Ramos Arizpe.....	26
3.8 Tipo de tratamiento del caudal.....	27
3.9 Sitios de muestreo	28
3.10 Análisis del agua residual	29
3.10.1 Parámetros Físico-Químicos	29
3.10.2 Microbiológicos.....	29

3.11 Trabajo realizado en laboratorio	30
4. Resultados y Discusión.	39
4.1 Conductividad eléctrica (CE).....	41
4.2 Sólidos Disueltos (SD)	42
4.3 Potencial de Hidrogeno (pH).....	42
4.4 Temperatura (t°).....	44
4.4 Oxígeno Disuelto (O ₂)	45
4.6 Turbidez (Turb)	46
4.7 Sólidos Suspendidos Totales (SST)	47
4.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	48
4.9 Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO ₅).....	49
4.10 Coliformes Fecales (CF)	50
4.11 Coliformes Totales (CT).....	51
5. CONCLUSIONES.....	52
6. RECOMENDACIONES.....	53
7. REFERENCIAS	54
ANEXO	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de agua y necesidad en México (MENDOZA, 2012).	5
Figura 2. Tratamiento de aguas residuales (Mendoza, 2012).	6
Figura 3. Dimensión de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos (CNA, 2001)....	10
Figura 4. Efecto de los errores cometidos en el muestreo (Reutelshofer y Bejarano, 2015).	15
Figura 5. Ubicación de la zona de muestra del arroyo la encantada y puntos de muestreo.	18
Figura 6. Perfil del arroyo la encantada.....	19
Figura 7. Diagrama esquemático de la PTAR de Ramos Arizpe (Garza, et al., 2010).	26
Figura 8. Lugar de ubicación de la planta Ramos Arizpe (SEMARNAT, 2006).	27
Figura 9. Esquema actual de tratamiento de aguas residuales en la planta tratadora principal de saltillo (González, et al., 2013).	28
Figura 10. Botellas de incubación.	35
Figura 11. Reactor C 9800 HANNA.....	36
Figura 12. Caja con medio de cultivo de MFC.....	38
Figura 13. Caja con medio de cultivo de m-endo.	38
Figura 14. Variación de la conductividad eléctrica.	41
Figura 15. Variación de sólidos disueltos.	42
Figura 16. Variación del potencial de hidrógeno.	43
Figura 17. Variación de la temperatura.	44
Figura 18. Variación de oxígeno disuelto.	45
Figura 19. Variación de la turbidez.....	46
Figura 20. Variación de Sólidos Suspendidos Totales.	47
Figura 21. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.	48
Figura 22. Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	49
Figura 23. Consumo de materia orgánica, oxígeno disuelto y oxigenación de una corriente (Molero, et al., 1997).	50
Figura 24. Variación de Coliformes Fecales.....	51

Figura 25. Variación de Coliformes Totales	51
---	-----------

INDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Clasificación del pH del agua (Delgadillo, Camacho , F. Pérez, & Andrade, 2010).	11
Cuadro 2. Enfermedades relacionadas con el agua. (CNA, 2007).....	13
Cuadro 3. Especies arbóreas presentes en el arroyo La Encantada (González, et al., 2013).....	20
Cuadro 4. Lista de mamíferos comunes en las márgenes de La Encantada (González, et al., 2013).....	21
Cuadro 5. Cantidad de muestra en cada plato para la determinación de sólidos suspendidos totales (SST).	32
Cuadro 6. Cantidad de muestra en cada botella de incubación	33
Cuadro 7. Resultados obtenidos en campo y laboratorio	39
Cuadro 8. Eficiencia de remoción.....	39
Cuadro 9. Eficiencia de remoción.....	40
Cuadro 10. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.	59
Cuadro 11. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997	60

RESUMEN

Las aguas residuales municipales, tratadas o sin tratar, se están descargando a arroyos, ríos y mares, siendo aprovechada por comunidades o ejidos en la agricultura y ganadería sin conocer la calidad. La finalidad del trabajo fue determinar la calidad y cantidad de agua derivada a los ejidos del norte de Ramos Arizpe. La presente investigación se realizó en el arroyo La Encantada, el cual tiene inicio en Saltillo y termina en Paredón Coahuila, cabe mencionar que en Ejido Paredón no había agua en las fechas de muestreo. Existen restricciones para el reúso del agua residual que están puntualizadas en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-ECOL-1996, NOM-003-ECOL-1997 y NOM-127-SSA1-1994). Entre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados fueron: turbidez, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, temperatura, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, potencial del hidrógeno, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y coliformes fecales. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, debido a que la corriente es una fuente autodepuradora, pero la mezcla de aguas residuales tratadas y no tratadas contaminan los yacimientos de agua que existen sobre el arroyo La Encantada aguas abajo. La calidad del agua residual es mala en algunos de los ejidos sin embargo, la fauna, flora, ganadería y agricultura se abastecen del cauce.

Palabras clave: Autodepuración, Agua Residual, Uso eficiente, Riego Agrícola, Enfermedades Hídricas.

1. INTRODUCCIÓN

En México, el agua ha sido reconocida como un asunto estratégico y de seguridad nacional, y se ha convertido en elemento central de las actuales políticas ambientales y económicas, así como un factor clave del desarrollo social. Lograr que todos los cuerpos de agua superficiales y subterráneos del país recuperen su salud, aporten caudales para satisfacer las necesidades de la población y contribuyan al crecimiento económico y calidad de vida de la población; requiere que se mantengan limpios, sin descargas de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas que los contaminen y afecten más allá de su capacidad natural de asimilación y dilución (De La Peña, *et al.*, 2013).

Anualmente México recibe del orden de 1,489 mil millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 73.2% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.7% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, anualmente el país cuenta con 459 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CNA, 2010).

Las principales propiedades físicas de agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en el cuadro están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual (García y Pérez, S/F).

Norma Oficial Mexicana NOM-003-Semarnat-1997, Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reusó. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la

presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reúso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma (PROFEPA, 1998).

Norma Oficial Mexicana NOM-002-Semarnat-1996, 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 (PROFEPA, 1998).

Para las comunidades de pequeños propietarios de Ramos Arizpe, Hierbabuena, Zertuche, Higo, Mesillas, San Rafael y Paredón al norte de Saltillo y Ramos Arizpe, la principal fuente de abastecimiento de agua es del Arroyo La Encantada la cual recibe las descargas de las plantas tratadoras de Saltillo y Ramos Arizpe las cuales descargan 900 y 160 L s⁻¹. El estudio que se llevó a cabo fue para determinar si el agua en su trayecto por el arroyo La Encantada en su recorrido de 77 km, fue para ver si entre esa distancia existe una autodepuración que ayude a establecer cultivos más remunerables ya que se sabe que los ejidos utilizan el agua del arroyo para regar cultivos forrajeros.

1.1 Objetivos

- ❖ Muestrear y analizar el agua del arroyo La Encantada para determinar los parámetros de calidad físicos, químicos y microbiológicos.
- ❖ Determinar la calidad del agua mediante conductividad Eléctrica, Temperatura, Sólidos Disueltos, Turbidez, Sólidos Suspendidos Totales, pH, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, por su trayecto en el Arroyo la Encantada.
- ❖ Determinar si es viable establecer cultivos más remunerables y llegar a recomendar el tipo de cultivo de acuerdo a la calidad y el caudal que se tenga en cada ejido.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 El agua en México

México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua. INEGI y SEMARNAT informan que los recursos hidráulicos más contaminados y sobreexplotados se concentran en las zonas más pobladas del país, en las que escasea más el agua, provocando que la calidad de ésta sea inadecuada para una gran variedad de usos incluyendo el consumo humano. Entre las fuentes que muestran una contaminación excesiva están: la Península de Baja California, Lerma-Santiago-Pacífico. Las regiones del Balsas de Michoacán y parte de Guerrero aunque cuentan con agua subterránea, tienen el problema de una muy baja cobertura de líquido potable, alta contaminación de las aguas superficiales y daños por fenómenos hidrometeorológicos intensos. En tanto la cuenca del Golfo Centro, el mayor problema es la contaminación del líquido, en la del Valle de México hay contaminación de agua superficial y profunda (CNA, 2003).

Hay quienes hablan de la crisis del agua que vendrá en el futuro, pero desgraciadamente esa crisis ya está aquí. En el mundo la viven diariamente 1 100 millones de personas, las cuales no tienen acceso al agua potable. En México, alrededor de 12 millones padecen esta situación. En cuanto a acceso a saneamiento en el mundo, se calcula que 2 mil 400 millones no cuentan con él, mientras que en México 24 millones carecen de alcantarillado. Además, hay una gran cantidad de cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, muy contaminados. Se calcula que en el mundo cerca de 3,900 niños mueren cada día a causa de enfermedades curables transmitidas por el agua (CEMDA, 2011).

2.2 Disponibilidad de agua en México

Distribución del agua en México. En todo el país llueve aproximadamente 1,511 km³ de agua cada año, lo que equivale a una alberca de un kilómetro de profundidad del

tamaño del Distrito Federal. Alrededor de 72% (1,084 km³) de esa agua de lluvia regresa a la atmósfera por evapotranspiración. En su mayor parte, México es un país árido o semiárido (56%), es decir, los estados norteños abarcan 50% de la superficie y ahí llueve sólo 25% del total. En la parte angosta del país, que ocupa 27.5% del territorio, cae la mayoría del agua de lluvia (49.6%), en los estados del sur-sureste: Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco (CEMDA, 2011).

México dispone aproximadamente el 0.1% del total de agua dulce disponible a nivel mundial, lo que determina que un porcentaje importante del territorio esté catalogado como zona semidesértica.

México tiene 471.5 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable por año y está considerado como un país con baja disponibilidad de agua (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., 2012).



Figura 1. Disponibilidad de agua y necesidad en México (MENDOZA, 2012).

2.3 Tratamiento de Agua en México

El tratamiento de aguas residuales se ha convertido en una prioridad dentro de las agendas políticas en México. En el sexenio 2000-2006 se lograron avances importantes al incrementar el porcentaje de agua residual tratada del 23% al 36.1%.

Bajo un panorama global, se puede afirmar que las metas establecidas por el Gobierno de México en materia de tratamiento de aguas residuales, han estado muy cercanas a cumplirse año tras año, en parte por el bajo incremento que ha habido en los volúmenes colectados en la redes de alcantarillado municipales y a la entrada en operación de nuevas plantas de tratamiento (De La Peña, *et al.*, 2013).

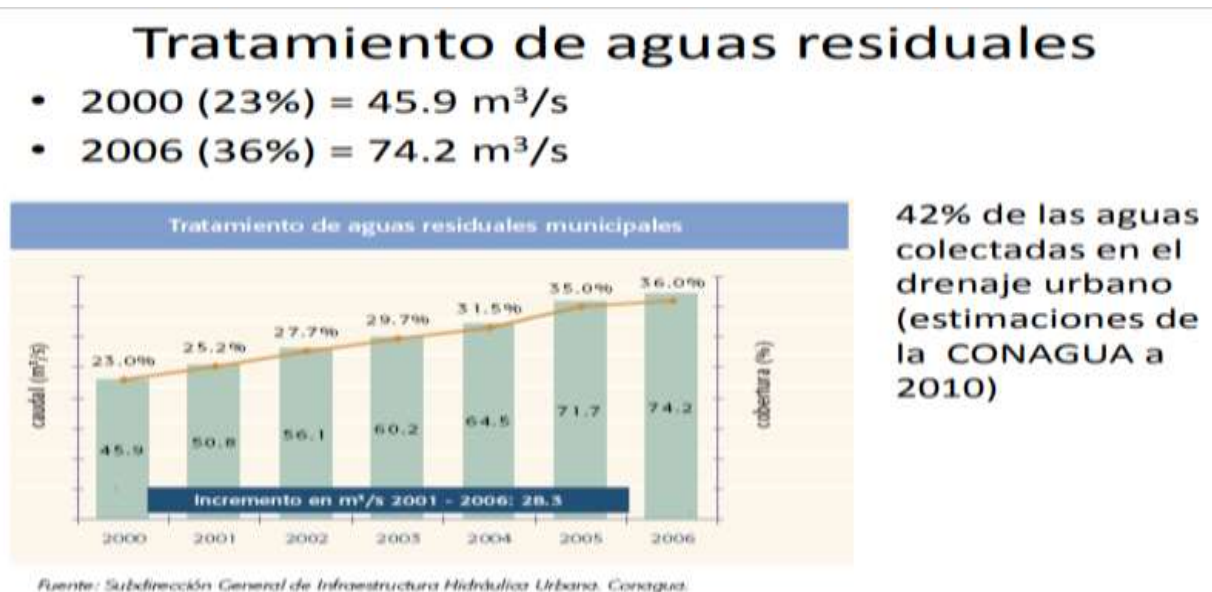


Figura 2. Tratamiento de aguas residuales (Mendoza, 2012).

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las municipales corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillados urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida.

La secuencia de generación de aguas residuales, recolección en alcantarillado y tratamiento/remoción (CNA, 2015).

2.4 Reúso de Agua en México

Uno de los más prometedores esfuerzos para frenar la crisis mundial del agua, es la reutilización y reciclaje de aguas residuales industriales y municipales. Las condiciones principales que conducen al uso creciente de las aguas residuales son: (a) aumento global de escasez y estrés de agua, (b) cada vez mayor población mundial, (c) la disponibilidad y confiabilidad de las aguas residuales para irrigación cerca de ciudades y (d) esfuerzos globales para lograr los objetivos de desarrollo del Milenio, especialmente los objetivos para garantizar una sostenibilidad ambiental y la eliminación de la pobreza y el hambre (CONAGUA, 2015).

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales y no municipales. Las municipales corresponden a las que son generadas en los núcleos de población y colectadas en los sistemas de alcantarillado urbanos y rurales, en tanto que las no municipales son aquellas generadas por otros usos, como puede ser la industria autoabastecida y que se descargan directamente a cuerpos de agua nacionales sin ser colectadas por sistemas de alcantarillado (CONAGUA, 2016).

2.5 Calidad del Agua

La calidad del agua se determina mediante la caracterización física y química de muestras de agua y su comparación con normas y estándares. De esta forma se puede identificar si el agua es idónea para los requerimientos de calidad asociados a un uso determinado, como por ejemplo el consumo humano o el ambiente, y en su caso, los eventuales procesos de depuración requeridos para la remoción de elementos indeseables o riesgosos. El deterioro de la calidad del agua ocurre por procesos tanto naturales como antropogénicos.

En el 2015, la Red Nacional de Monitoreo contaba con 4,999 sitios, distribuidos a lo largo y ancho del país. Adicionalmente a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitorizados por la Red, a partir de 2005 se han realizado monitoreos

biológicos en algunas regiones del país, los cuales permiten evaluar la calidad del agua utilizando métodos sencillos y de bajo costo (CONAGUA, 2016).

La calidad del agua de un cuerpo depende de múltiples factores, entre los que destacan la calidad y cantidad de las descargas directas de agua o de residuos sólidos provenientes de las actividades domésticas, agropecuarias o industriales, así como la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos o peligrosos que pueden, a través de los escurrimientos superficiales y lixiviados contaminar los cuerpos de agua, entre otros. Los contaminantes que llegan a los cuerpos superficiales dañan tanto a los ecosistemas acuáticos (en ríos, canales, lagos y mares) como a la salud humana (SEMARNAT, 2013).

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (ONU, 2015).

2.5.1 Parámetros Físicos

Los principales parámetros físicos a los que se enfocó son los siguientes:

Conductividad Eléctrica (CE)

Se define a la conductividad eléctrica como la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. La corriente eléctrica es transportada por iones en solución, por lo tanto el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. El valor de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT). Con la siguiente ecuación es posible determinar los SDT:

$$\text{SDT (mg/L)} = \text{CE} * (550-700)$$

La conductividad se expresa en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho cm}^{-1}$) o como decisiemens por metro (dS m^{-1}). Se determina mediante un conductivímetro (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Temperatura (t°)

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 $^\circ\text{C}$, pudiéndose tomar 15,6 $^\circ\text{C}$ como valor representativo (García y López, S/F).

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Un sólidos suspendido es aquel que puede retenerse en un filtro estándar de fibra de vidrio cuyo diámetro normal sea de 1.2 μm . los sólidos que pasen a través de dicho filtro representan la fracción filtrable que está compuesta por los sólidos coloidales y los sólidos disueltos (Figura 3).

El origen de los sólidos suspendidos es muy amplio y diverso, casi todos los usos de agua aportan sólidos suspendidos al agua residual, es decir, las fuentes de sólidos suspendidos pueden ser domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales, además de ocurrir en forma natural (CNA, 2001).



Figura 3. Dimensión de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos (CNA, 2001).

Sólidos Disueltos (SD)

Sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua y que no son retenidas por el material filtrante. Los sólidos disueltos tienen un tamaño menor a 0,00001 mm. Se relacionan con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha disuelto a su paso. Por ejemplo, un tratamiento prolongado en una piscina con compuestos clorados aumentaría la cantidad de sólidos disueltos y la conductividad en el tiempo (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Turbidez (TURB)

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos

para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C, 2011).

2.5.2 Parámetros Químicos

Los parámetros químicos a los que nos enfocaremos son los siguientes cuatro:

Potencial de Hidrógeno (PH)

El pH indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se utiliza esta notación como medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa. Muchas propiedades de las sustancias químicas dependen de la concentración del ión hidrógeno en solución (pH).

En las aguas residuales urbanas, el pH se encuentra entre 6,5 y 8,5. Valores elevados (mayores a 9,2) tienen efectos inhibidores del crecimiento de *E. coli*. Cuando los valores están comprendidos entre 5 y 9 (situándose los más favorables entre 6,5 y 8,5) la vida de especies acuáticas es favorecida. En un vertido con pH ácido, se disuelven los metales pesados; a su vez, el pH alcalino ocasiona que los metales precipiten. Los valores aproximados para clasificar esta propiedad en el agua residual, se muestran en el Cuadro 1 (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Clasificación del pH del agua (Delgadillo, Camacho , F. Pérez, & Andrade , 2010).

Ácido		Neutro	Alcalino	
Fuerte	Medio		Medio	Fuerte
0 a 4,3	4,3 a 7	7	7 a 8,2	8,2 a 14

Oxígeno Disuelto (OD)

Es fundamental para la respiración de los organismos aerobios presentes en el agua residual. El control de este gas a lo largo del tiempo, suministra una serie de datos fundamentales para el conocimiento del estado del agua residual. La cantidad presente en el agua depende de muchos factores, principalmente relacionados con la temperatura, actividades químicas y biológicas, entre otros (García, *et al.*, 2006).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (Diario Oficial de la Federación, 2001).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) del agua, medida a través de este método del dicromato, puede ser considerada como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, por ejemplo: la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación química total de constituyentes orgánicos a productos inorgánicos finales. El grado en el cual los resultados de prueba se aproximan al valor teórico depende principalmente de qué tan completa es la oxidación. Un gran número de compuestos orgánicos se oxidan en una proporción de 90 % a 100 %. Para aguas en las que estos compuestos predominan, tales como las descargas municipales, el valor de DQO es una medida realista de la demanda de oxígeno teórica (Diario Oficial de la Federación, 2001).

2.5.3 Parámetros Biológicos

Los microorganismos causantes de las denominadas “enfermedades hídricas” (Cuadro 2) provienen principalmente de las heces humanas o animales. La infección ocurre por el contacto entre el hombre y el agente infeccioso en alguna de las fases

del ciclo del uso del agua, es decir, que puede presentarse durante las actividades cotidianas (bañarse, lavar, cocinar.) (CNA, 2007).

Cuadro 2. Enfermedades relacionadas con el agua. (CNA, 2007).

Grupo de enfermedades	Comentario	Enfermedades que Producen
Enfermedades transmitidas por el agua.	En este grupo de enfermedades el agua actúa como un vehículo pasivo del agente infeccioso al ser ingerido en el agua contaminada. Se producen debido a una pobre calidad de la potabilización del agua para uso y consumo humano.	Cólera Tifoidea Disentería bacilaria. Hepatitis infecciosa. Leptospirosis Giardiasis Gastroenteritis
Enfermedades debidas a la carencia de agua.	Se relacionan con la falta de higiene personal y el uso de agua de baja calidad en las actividades diarias como lavar bañarse. También depende de la insuficiencia de recursos para la disposición adecuada de residuos humanos.	Infección de ojos y de la piel Conjuntivitis Salmonelosis Tracoma Fiebre paratifoidea Ascariasis
Enfermedades causadas por agentes infecciosos esparcidos por el contacto y/o ingestión de agua.	Estas enfermedades se producen cuando parte del ciclo de vida de un agente infeccioso tiene lugar en un medio acuático.	Fiebre amarilla Malaria Arbovirus Dengue
Enfermedades causadas por agentes infecciosos, ingeridos en diversos alimentos (pescado) que están en contacto con agua contaminada.	Este grupo de enfermedades son producidas al ingerir alimentos contaminados por la bioacumulación de ciertos contaminantes o por microorganismos que habitan en el agua.	Clonorsiacis

Coliformes Totales (CT)

Coliformes totales, son bacterias aerobias y anaerobias facultativas no esporulados. La capacidad de reproducción de estos bacilos, fuera de los intestinos de los animales homeotérmicos (de sangre caliente), es favorecida por las condiciones adecuadas de temperatura, materia orgánica, pH, y humedad. También se pueden reproducir en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Coliformes Fecales (CF)

Los coliformes fecales son un grupo de microorganismos en que *Escherichia coli* organismo de origen fecal, representa una elevada proporción. Su identificación se basa en la fermentación de la lactosa con formación de gas en medios selectivos incubados a una temperatura estrictamente controlada.

Su empleo como indicador de contaminación fecal tiene muchas limitaciones, ya que su presencia no puede interpretarse de la misma manera en todos los alimentos. Su cuantificación está supeditada a diversas condiciones, entre las que destacan su reproducción o destrucción en los diferentes tipos de alimentos. En todos los casos, su hallazgo indica un cierto grado de riesgo, pero no existe correlación absoluta entre presencia y la de microorganismos patógenos (COLPOS, 1992).

2.6 Muestreo de Aguas Residuales

Se toman muestras para hacer el análisis de la calidad del agua, con el objetivo que se tenga conocimiento del funcionamiento y la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Tomar una muestra no es tan fácil como parece. Además, puede tener sus implicancias en las actividades posteriores que son la preparación y los análisis (Reutelshofer y Bejarano, 2015).

Un error en la base de la pirámide (Figura 4) tiene más efectos en los resultados que un error en la punta de la pirámide. Así, tomar una mala muestra provoca resultados

malos, y la influencia del muestreo a los resultados finales es más importante que la influencia del análisis y de la preparación de las muestras.



Figura 4. Efecto de los errores cometidos en el muestreo (Reutelshofer y Bejarano, 2015).

2.7 Tipos de Muestreo

2.7.1 Muestreo Manual

Se realiza cuando se tienen sitios de fácil acceso o aquellos que por medio de ciertas adaptaciones puedan facilitar la toma de muestras. La ventaja de éste tipo de muestreo es permitir al encargado de tomar la muestra, observar los cambios en las características del agua en cuanto a sustancias flotantes, color, olor, aumento o disminución de caudales.

El muestreo manual sólo es aceptable para los criterios de control y vigilancia, si la muestra es representativa de la calidad del agua del sitio de muestreo particular, motivo por el cual se requiere establecer que la información obtenida de estas muestras puntuales tomadas en un sitio y tiempo dados, es única para ese lugar y tiempo seleccionado (República de Colombia, Instituto Nacional de Salud, 2011).

2.7.2 Muestreo Automático

Es aconsejable cuando los sitios son de difícil acceso o cuando se justifica y se tiene la facilidad de contar con un muestreador automático. Tiene como ventaja más precisión en la toma de muestras y como desventaja la complejidad de su montaje y calibración, además de que requiere revisiones continuas para evitar atascamientos u otras fallas del equipo.

Sin embargo la aplicación de un sistema de muestreo automático requiere instalar una serie de equipos (antenas, paneles solares, etc.) y herramientas (licencias de transmisión, software) que elevan el costo, convirtiéndose en un factor limitante para la implementación de este tipo de muestreo (República de Colombia, Instituto Nacional de Salud, 2011).

2.7.3 Muestreo Mixto

En la actualidad se pueden poner en marcha programas de muestreo que involucren la utilización de los dos tipos de muestreos mencionados anteriormente (muestreo mixto), convirtiendo el monitoreo en un sistema integrado que permite la verificación manual de los resultados obtenidos de forma automática. Dicha verificación es realizada aleatoriamente, de tal manera que se pueda realizar la calibración, ajuste y mantenimiento de los equipos automáticos (República de Colombia, Instituto Nacional de Salud, 2011).

2.8 Tipos de Muestras

Los tipos de muestras más comunes son: muestra simple y muestra compuesta.

2.8.1 Muestra Simple

La que se tome en día normal de operación durante el tiempo necesario para completar un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo (CONAGUA, 2016).

2.8.2 Muestra Completa

La que resulta de mezclar el número de muestras simples. Para conformarla, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma (CONAGUA, 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Descripción del sitio de estudio.

Esta corriente (El arroyo La Encantada) tiene su formación en la parte sur del municipio de Saltillo en el poblado denominado la Encantada y en las sierras del municipio de Arteaga, siguiendo una trayectoria hacia el esta pasando por la ciudad de Saltillo y Ramos Arizpe y el poblado de Paredón (Figura 5 y 6), con una longitud de 77 km hasta su confluencia con el arroyo Patos y su escurrimiento se aprovecha para riego, principalmente en el municipio de Ramos Arizpe.

En su paso por Saltillo, a este arroyo se le conoce como “El Pueblo”. Después de su confluencia con el arroyo Cárdenas (o Madre), al sur del municipio de Ramos Arizpe, recupera su nombre (IDEAL, 2006).



Figura 5. Ubicación de la zona de muestra del arroyo la encantada y puntos de muestreo.



Figura 6. Perfil del arroyo la encantada.

3.1.2 Flora

A pesar de la amplia variedad de flora que puede observarse a la orilla del arroyo, prácticamente no existen reportes al respecto. Solamente se tiene documentada la presencia de cuatro tipos de árboles (mezquite, olmo, pirul y sauce) en los márgenes del cauce.

En varios recorridos efectuados a lo largo de la encantada en el mes de julio de 2013, se avistaron los árboles listados en el Cuadro 3. Estos árboles aprovechan la humedad del suelo en los márgenes del arroyo (González, *et al.*, 2013).

Cuadro 3. Especies arbóreas presentes en el arroyo La Encantada (González, et al., 2013).

Nombre común	Nombre Científico
Mezquite	<i>Prosopis sp. (glandulosa, laevigata, etc.)</i>
Olmo	<i>Ulmus americana</i>
Pirul	<i>Schinus molle</i>
Sauce	<i>Salís bonpladiana</i>
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>
Nogal pecanero	<i>Carya illinoensis</i>
Higuera	<i>Ficus carica</i>
Mora	<i>Morus nigra</i>
Palo blanco	<i>Celtis laevigata</i>
Fresno común, fresno europeo o fresno negro	<i>Fraxinus excelsior L.</i>
Palma Washingtonia	<i>Washingtonia robusta</i>

3.1.3 Fauna

En cuanto a la flora, las orillas del cauce del arroyo albergan a una amplia variedad de animales poco comunes en el resto de los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe.

En el área se ha observado la presencia pequeños mamíferos (Cuadro 4) entre los que se puede citar a la zorra gris, el cacomixtle; ardillas arbóreas y terrestres. La comadreja, de amplia distribución en el área, depreda sobre los nidos de aves silvestres y ratones; el zorrillo, los lagomorfos y los ratones son abundantes, principalmente los de los géneros *Peromyscus spp.*, *Reithrodontomys spp.*, y *Neotoma* (González, et al., 2013).

**Cuadro 4. Lista de mamíferos comunes en las márgenes de La Encantada
(González, et al., 2013).**

Nombre común	Nombre científico
Ardilla de tierra	<i>Sperophilus mexicanus</i>
Ardillón	<i>Sperophilus vavieatus</i>
Cacomixtle	<i>Bassaris astuta</i>
Comadreja	<i>Mustela frenata</i>
Conejo cola de algodón	<i>Sylvilagus floridanus</i>
Conejo del desierto	<i>Sylvilagus audobonii minor</i>
Coyote	<i>Canis latrans</i>
Gato montés	<i>Lynx rufus texensis</i>
Liebre de cola negra	<i>Lepus californicus</i>
Mapache	<i>Procyon lotor</i>
Ratón de campo	<i>Peromiscus sp.</i>
Tlacuache	<i>Dedelphis virginiana</i>
Zorra gris	<i>Urocyion cinereoargenteus</i>
Zorrillo	<i>Conepatus mesoleucus</i>

3.2 Saltillo

Saltillo, es la capital del estado de Coahuila de Zaragoza. Se localiza al norte de México en la región sureste del mismo estado, a 400 km al sur de la frontera con Texas, Estados Unidos y a 846 km de la ciudad de México.

Saltillo está rodeado por las altas montañas de la sierra madre oriental. Saltillo es la zona metropolitana diecinueve del país con 777,797 habitantes (Dirección de Desarrollo Económico de Saltillo, 2015).

3.2.1 Topografía

Saltillo se establece en un valle formado al finalizar la prominente fisiografía de la Sierra Madre Oriental en su extremo norte. El territorio municipal se compone principalmente por pendiente en bajada y llanura, siendo esta última la topografía principal de la Ciudad de Saltillo.

La sierra Del Pame (El Pinal) con una altitud de 2,380 m.s.n.m., y la sierra de Zapalinamé con 3,140 m.s.n.m., son las principales elevaciones. La ciudad de Saltillo se encuentra limitada al oriente por la Sierra de Zapalinamé y al poniente por Cerro del Pueblo, bordes naturales que limitan su crecimiento y orientan la expansión urbana hacia el norponiente, hacia su límite con los municipios de Arteaga y Ramos Arizpe, así como también dirigen el crecimiento urbano hacia el sur rumbo a Derramadero (Gobierno del Municipio de Saltillo, 2014).

3.2.2 Orografía

Al oeste se localiza la sierra Playa Madero, que abarca también la parte sureste de Parras de la Fuente. En el suroeste se localiza la sierra El Laurel, que forma parte también de Parras de la Fuente. La sierra Zapalinamé se levanta al este del municipio y la sierra Hermosa está localizada en el suroeste (Gas Natural México S.A. de C.V., 2008).

3.2.3 Edafología

Sobre el tipo de suelo, las mayores extensiones de superficie municipal están compuestas por Calcisol (36.3%) y por Litosol (29.9%). Estos son suelos caracterizados por encontrarse en abundancia a lo largo del territorio nacional, en ellos se puede sustentar cualquier tipo de vegetación, según el clima, siendo predominantemente utilizados para uso forestal, ganadero y excepcionalmente agrícola. Son suelos muy delgados que descansan sobre un estrato duro y continuo (Gobierno del Municipio de Saltillo, 2014).

3.2.4 Geología

El suelo se encuentra compuesto por rocas que datan en su mayoría del período cuaternario (60%), y en cantidades menores está compuesto por rocas de los períodos Cretácico (33%), Jurásico (3%), Paleógeno (2.9%), Terciario (1%), y en una cantidad muy pequeña por rocas del período Neógeno (0.1%) (Gobierno del Municipio de Saltillo, 2014).

3.2.5 Fisiografía

Se encuentra comprendido en la provincia de la Sierra Madre Oriental. Esta provincia, en lo fundamental, es un conjunto de sierras menores de estratos plegados, los cuales son de antiguas rocas sedimentarias marinas (del cretácico y jurásico superior) entre las que predominan en forma destacada las calizas, quedando en segundo plano las areniscas y las rocas arcillosas (Gas Natural México S.A. de C.V., 2008).

3.2.6 Tipo de vegetación

La vegetación en el municipio es predominantemente matorral, la cual ocupa el 59.5% del territorio, a esta le sigue la vegetación boscosa, compuesta principalmente de encinos y pinos, con un 13.6% del territorio y el 12% restante lo comprende vegetación del tipo pastizal natural y algunas zonas de pasto inducido (Gobierno del Municipio de Saltillo, 2014) .

3.2.7 Uso del suelo

En lo que respecta al uso del territorio municipal, según cifras del INEGI al año 2009, en el 12.5% del territorio se utilizó para actividades agropecuarias y tan sólo un 1.4% tuvo un uso urbano, lo que deja la mayor parte de la extensión territorial en estado natural.

Actualmente Coahuila ocupa el primer lugar nacional en producción de sorgo forrajero y la zona rural del municipio de Saltillo contribuye a esta actividad. Dentro de los recursos naturales que se explotan en el municipio se encuentran la candelilla, la fibra de lechuguilla y la palma (Gobierno del Municipio de Saltillo, 2014).

3.3 Planta tratadora de aguas residuales de Saltillo

La planta tratadora de Aguas Residuales Municipales de Saltillo “principal” (PTARM-principal) está ubicada en la prolongación Isidro López Zertuche No. 1100 con una superficie de 92,464.62 m². Se localiza a 1,460 metros sobre el nivel del mar (msnm) y tiene una capacidad de 1,200 litros por segundo (Lps). La planta fue diseñada para tratar una mezcla de aguas domésticas e industriales de la ciudad de Saltillo, parte de las aguas residuales domésticas e industriales generadas se siguen descargando directamente al arroyo la Encantada, sin tratamiento alguno (González, *et al.*, 2013).

3.4 Información general sobre la planta tratadora de aguas residuales principal Saltillo

Esta planta fue diseñada para tratar una mezcla de aguas domésticas e industriales de la ciudad de Saltillo. Sin embargo, parte de las aguas residuales industriales e industriales generadas se siguen descargando directamente al arroyo La Encantada, sin tratamiento alguno.

La planta, que está localizada a 1,460 m sobre el nivel del mar, tiene una capacidad de 1,200 (Lps). Sin embargo, en sus tres años de operación ha tratado un promedio de 600 a 800 (Lps). En las Figuras 1 y 2 se muestran fotografías de la PTAR tomadas desde el margen poniente del arroyo la Encantada (Garza, *et al.*, 2010).

3.5 Tipo del tratamiento del caudal

La PTAR Principal consiste esencialmente en: un sistema de pre-tratamiento (rejilla y desarenador), una serie de clarificadores primarios, seguida de cinco trenes de tratamiento biológico (sistema de lodos activados), que constan de un reactor (con difusores de burbuja y un clarificador secundario cada uno. Finalmente se pasa por un proceso de cloración para el efluente secundario; un digestor, un filtro banda y adición de cal para los lodos de desecho. Los lodos de retorno de los cinco reactores se envían a la línea de alimentación a los dos mismos. La planta cuenta con cinco sopladores de 200 HP cada uno. Bajo condiciones de operación normal no suele usarse todos.

En la actualidad el efluente secundario clorado, resultante del tratamiento, se descarga al arroyo La Encantada, que colinda con las instalaciones de la Planta Tratadora (Garza, *et al.*, 2010).

3.6 Planta tratadora de aguas residuales de Ramos Arizpe

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ramos Arizpe fue construida en 2006- 2007, entrando en operación a finales de 2007. En conjunto con la Planta, se construyeron los colectores oriente, poniente y el emisor principal, que conducen todas las aguas residuales domésticas del municipio hacia la PTAR. Esta Planta beneficia a una población de 76,000 habitantes.

La planta fue diseñada para tratar únicamente las aguas domésticas de esta ciudad. La planta tiene, por diseño, una capacidad de tratar 160 (Lps). Desde el inicio de operaciones de la Planta (septiembre de 2007) hasta febrero de 2009, se trataron

4,415,160 m³ de agua, con un promedio de 90 (Lps). En la actualidad se tratan entre 100 y 120 (Lps) (Garza, *et al.*, 2010).

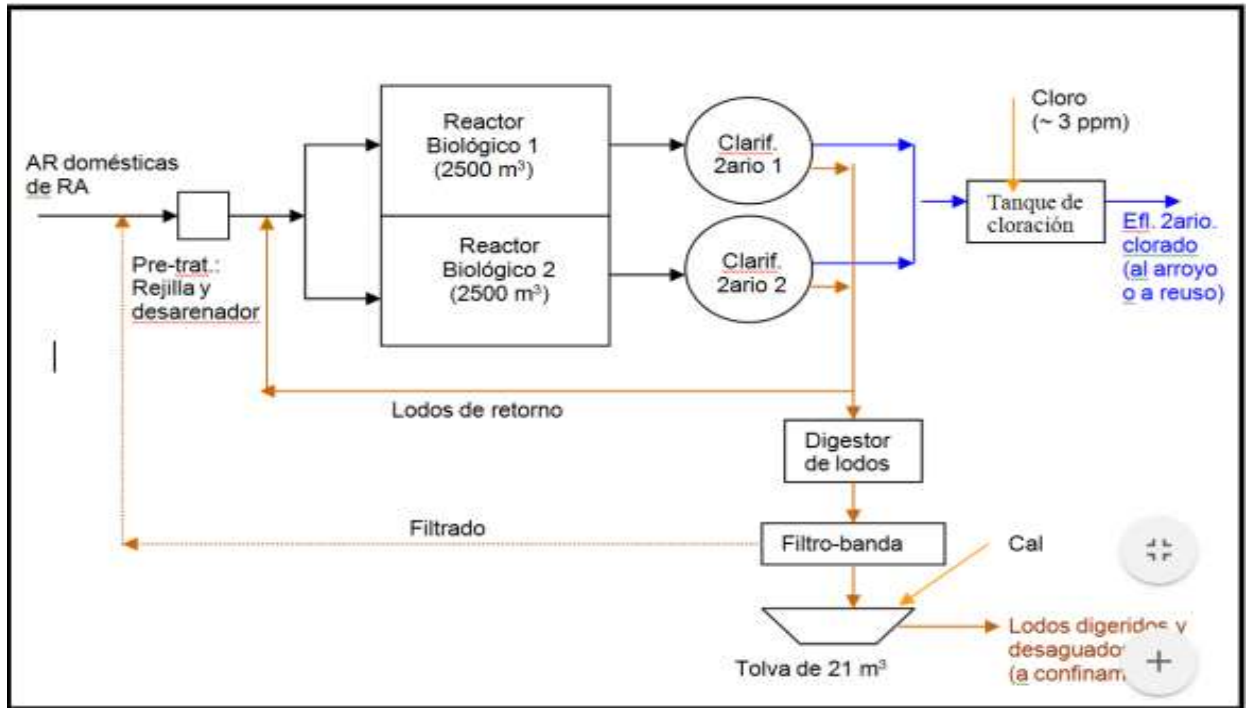


Figura 7. Diagrama esquemático de la PTAR de Ramos Arizpe (Garza, *et al.*, 2010).

3.7 Ubicación de la Planta Tratadora de Aguas Residuales Ramos Arizpe

Se localiza en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. Este se ubica al norte del estado de Coahuila y colinda al norte con los municipios de Cuatro Ciénegas y Castaños y con el estado de Nuevo León; al este con estado de Nuevo León y el Municipio de Arteaga; al sur con los municipios de Arteaga, Saltillo y General Cepeda; al oeste con los municipios de General cepeda, Parras y Cuatro Ciénegas.

La ciudad de Ramos Arizpe se encuentra ubicada al sureste del estado de Coahuila de Zaragoza, en una región del semidesierto chihuahuense, entre las coordenadas 100° 39' y 101° 33' longitud oeste y 25° 28' y 26° 20' latitud norte. A una altura media de 1,339 metros sobre el nivel del mar (SEMARNAT, 2006).

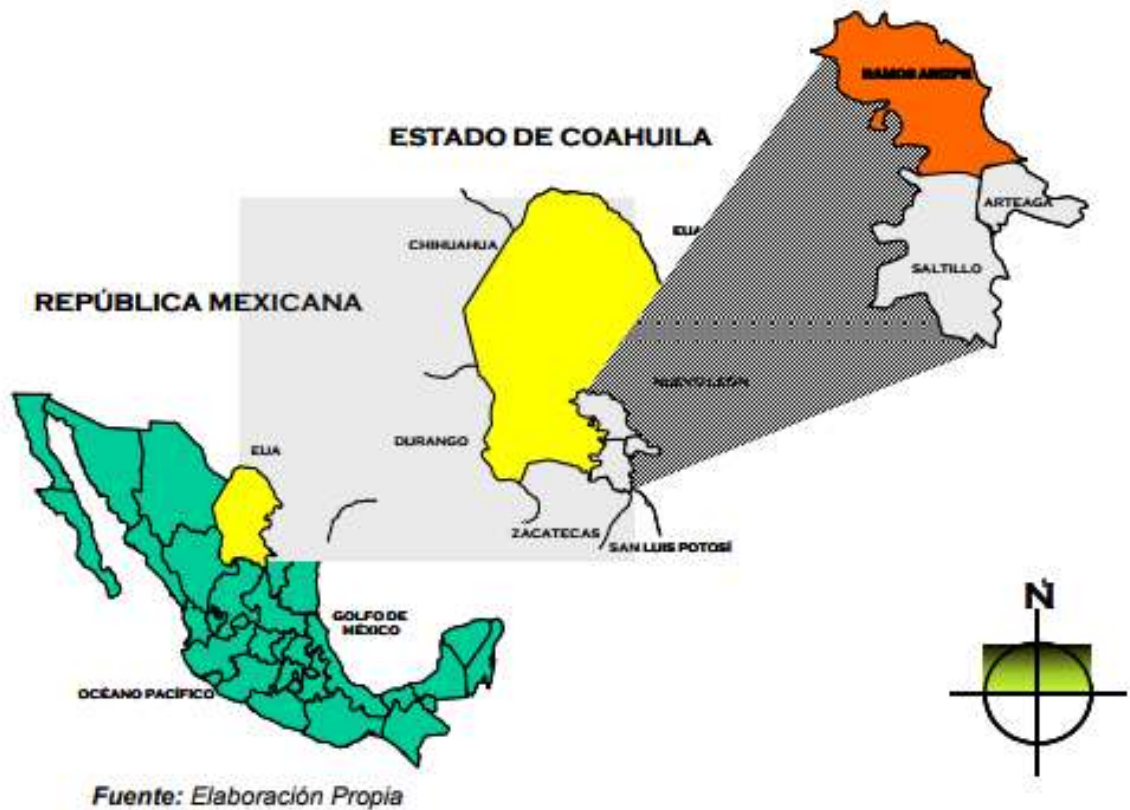


Figura 8. Lugar de ubicación de la planta Ramos Arizpe (SEMARNAT, 2006).

3.8 Tipo de tratamiento del caudal

La PTARM- principal está formado por: un sistema de pretratamiento (rejilla y desarenador), una serie de clarificadores primarios, seguido de cinco trenes de tratamiento biológico (sistema de lodos activados), que consta de un reactor (con difusores de burbuja y un clarificador secundario cada uno). Finalmente se pasa por un proceso de cloración para un efluente secundario; un digestor, un filtro banda y adición de cal para los lodos de desecho. Los lodos de retorno de los cinco reactores se envían a la línea de alimentación. La Planta cuenta con cinco sopladores de 200 HP cada uno.

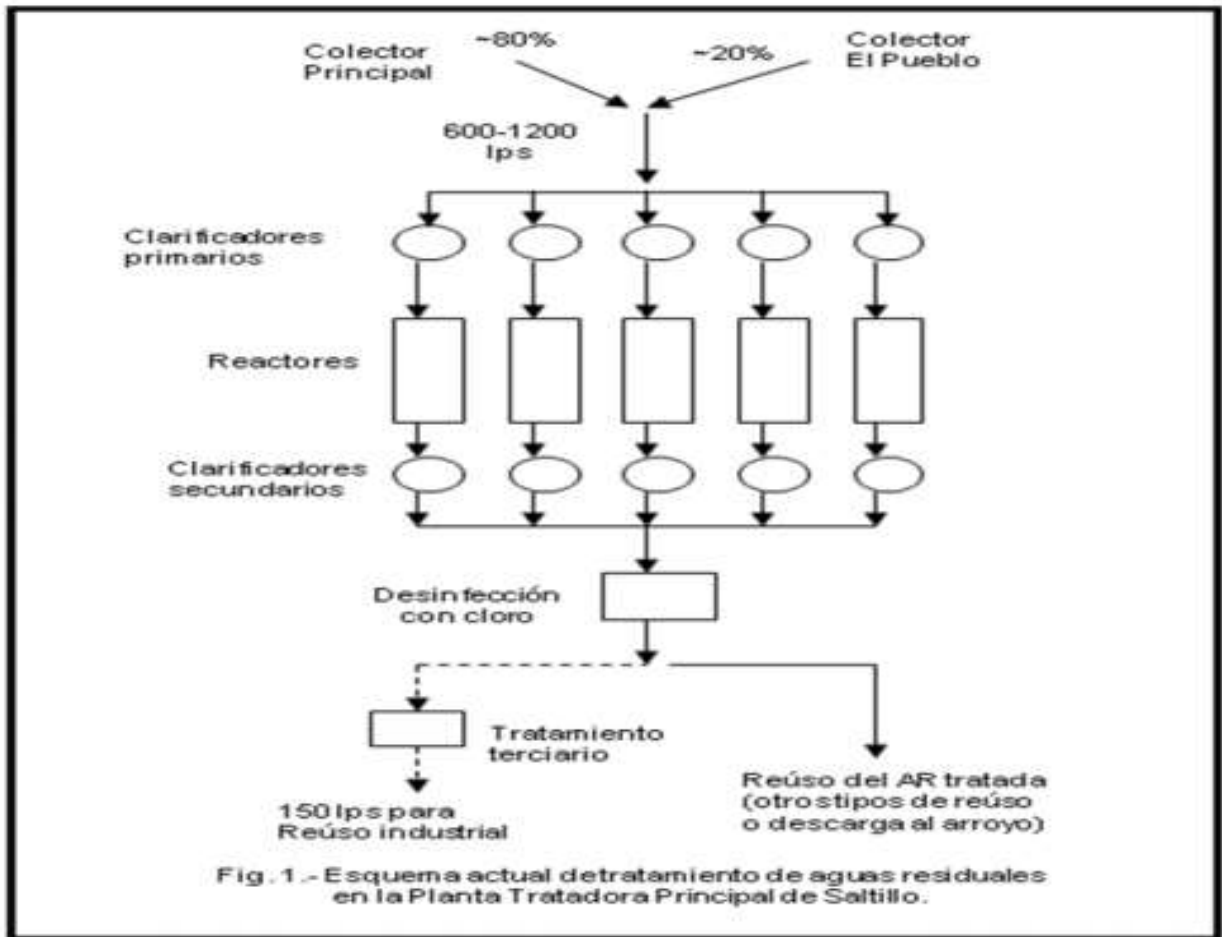


Figura 9. Esquema actual de tratamiento de aguas residuales en la planta tratadora principal de saltillo (González, *et al.*, 2013).

3.9 Sitios de muestreo

Para el análisis físico, químico y biológicos del agua residual, la toma de parámetros *in situ* se realizó en 5 puntos empezando en Ejido San Rafael. Para la toma de muestra se realizó en 2 fechas, 17 de mayo y el 20 de junio se trató que sea una fecha fuera de lluvias, para evitar los escurrimientos y aumento de la velocidad del agua ya que se suspenden partículas de suelo y materia orgánica a la corriente, eso podía afectar las lecturas de los parámetros a analizar.

La cantidad y conservación de cada muestra se realizó conforme a las Normas Oficiales Mexicanas, para cada uno de los análisis. Las muestras se conservaron en

una hielera hasta llegar al laboratorio, posteriormente, se realizaron los análisis que tienen como tiempo límite 24 h, en algunos casos.

3.10 Análisis del agua residual

De los puntos de muestreo se obtuvieron los parámetros Físicos (Conductividad Eléctrica, Turbidez, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos y Temperatura), Químicos (Potencial de Hidrógeno, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno) y Biológicos (Coliformes Fecales y Coliformes Totales).

3.10.1 Parámetros Físico-Químicos

Los parámetros físico-químicos se tomaron directamente en campo (*in situ*), que fueron los siguientes: Potencial de hidrogeno (PH), Turbidez (TURB), solidos disueltos (SD), temperatura (t°), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE). El equipo que se utilizó para determinar los parámetros ya mencionados son los siguientes: Multiparámetro (Hanna Instruments, HI98130), Oxímetro (Hanna Instruments, HI9146) y Turbidímetro (Hanna Instruments, HI93703).

La DBO₅ se analizó en laboratorio, al igual que: DQO, SST y CF

- ❖ La DBO₅ se analizó por el método respirométrico (mg L⁻¹).
- ❖ Los SST se analizó por el método de filtración (mg L⁻¹).
- ❖ La DQO se analizó con el método de refluo abierto (mg L⁻¹).

3.10.2 Microbiológicos

El análisis de coliformes fecales (CF) se realizó con el método de filtración por membrana, el cual expresa sus resultados en unidades formadoras de colonias por 100mL (UFC/100 mL), la NOM-003-ECOL-1997, reporta en sus resultados en número más probable por 100 mL (NMP/100mL), sin embargo la Norma Mexicana (NMX-127-

SSA1-1994), menciona que los resultados bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml, si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml, si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

Las determinaciones se hicieron usando diluciones decimales sucesivas, que se caracteriza por una relación 1:9, es decir cada vez que se toma un mL de muestra se diluye en 9 ml de agua destilada, estará diluido diez veces menos que la muestra. En la determinación de CF se utilizó el medio de cultivo (MFC Agar Difco) y para la determinación de CT se utilizó el medio de cultivo (Mendo Agar Difco).

3.11 Trabajo realizado en laboratorio

Sólidos Suspendidos Totales

Materiales y equipo

- ❖ Filtros de fibra de vidrio de 47 mm de diámetro
- ❖ Bomba de vacío
- ❖ Manguera
- ❖ Platos de aluminio o acero inoxidable de 57 mm de diámetro
- ❖ Matraz de vacío o de filtración de 500 ml
- ❖ Agua destilada
- ❖ Balanza analítica capacidad de 0.01 mg a 250 g
- ❖ Estufa de secado
- ❖ Pinzas

Procedimiento

- ❖ Se procede a eliminar la pelusa del filtro.
- ❖ Se conecta un extremo de la manguera al vacío y el otro extremo al matraz de vacío o de filtración de 500 ml.
- ❖ Luego se le coloca el portafiltro en la boca del matraz.
- ❖ Después en el portafiltro se le coloca filtro de fibra de vidrio con una pinza y se moja con agua destilada.
- ❖ Se abre la succión, una vez que haya pasado toda el agua destilada se retira con una pinza, se coloca en un plato de aluminio. (Esto se realiza con cada una las muestras).
- ❖ Ya terminadas todas se colocan a la estufa por una hora a 105°C.
- ❖ Después de la hora se saca y se deja enfriar, luego se pesa cada uno de los papeles filtros tomando nota del peso.

Procedimiento con la muestra a analizar

Se realizó el mismo procedimiento mencionado anteriormente, solo que ahora se sustituyó el agua destilada por 20 ml de muestra correspondiente de cada lugar para cada filtro, también se le agrego aproximadamente 10 ml de agua destilada y se procedió a repetir tres veces cada muestra como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cantidad de muestra en cada plato para la determinación de sólidos suspendidos totales (SST).

Numero de plato	Lugar de muestra	Cantidad de muestra
5A	Planta Ramos Arizpe	20 ml
5B		20 ml
5C		20 ml
6A	Hierbabuena	20 ml
6B		20 ml
6C		20 ml
7A	Zertuche	20 ml
7B		20 ml
7C		20 ml
8A	Mesillas	20 ml
8B		20 ml
8C		20 ml
9A	San Rafael	20 ml
9B		20 ml
9C		20 ml

Una vez que se realizaron las repeticiones requeridas, se colocó en la estufa por 24 h, a 105°C una vez transcurrido este periodo se procede a tomar la lectura del peso final para obtener los resultados correspondientes con la siguiente fórmula.

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales} \frac{mg}{Lt} = \frac{(\text{Peso 2} - \text{Peso 1}) * 1000 * 1000}{\text{Muestra}}$$

Donde:

Peso 1= peso del filtro seco sin residuo (g)

Peso 2= peso de filtro con residuo seco (g)

Muestra= volumen de la muestra (mL)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Cuadro 6. Cantidad de muestra en cada botella de incubación

No. De frasco.	Cantidad de muestra (mL)	mL de semilla	mL de agua destilada
1	25 San Rafael	35	10
2	25 Mesillas	35	10
3	25 Zertuche	35	10
4	25 Hierbabuena	35	10
5	25 P.R.A	35	10
6	0-Testigo	35	55

Materiales y equipo

- ❖ Botellas de incubación de 250 a 300 ml de capacidad.
- ❖ Se lavaron las botellas con detergente, se enjuagó en repetidas ocasiones y se esperó su secado.
- ❖ Prepare una solución de Sulfito de Sodio disolviendo 1.575 g de NaSO_3 en 1000 ml de agua destilada
- ❖ Se añadió 3 L de agua en una botella con suficiente capacidad y se agregó 1 ml de las soluciones buffer, sulfato de magnesio, cloruro de calcio, cloruro férrico por litro de agua.
- ❖ Nos aseguramos que la temperatura del agua de dilución era de 20 °C y se saturó con oxígeno disuelto agitándola en una botella parcialmente llena.
- ❖ Se diluyó la muestra en agua de dilución para obtener un factor de dilución 0, 10 y 100. Los resultados más adecuados se alcanzan al obtener una concentración residual de OD de 1 mg L⁻¹ y una asimilación de por lo menos 2 mg L⁻¹ después de 5 días de incubación.
- ❖ Se inoculó cada una de las botellas y llénelas hasta su máxima capacidad formando un sello de agua y cubriendo su parte superior con aluminio o plástico.
- ❖ Se incubó a 20±1 °C las botellas conteniendo las diluciones de la muestra y el control negativo. Determine el OD antes y después de los 5 días de incubación.

$$DBO5, mg/L = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2)}{P}$$

Donde:

D1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de preparada, mg L⁻¹.

D2 = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C, mg L⁻¹.

P = Fracción volumétrica de la muestra usada.

B1 = OD del control inoculado antes de incubar, mg L⁻¹.

B2 = OD del control inoculado después de incubar, mg L⁻¹.



Figura 10. Botellas de incubación.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Materiales y métodos

- ❖ Elegir una muestra homogénea, muestra que contienen sólidos sedimentables
- ❖ Para la digestión de la muestra utilice el reactor de calentador de bloque con agujeros para dar cavidad a frascos de digestión.
- ❖ Retire la tapa de un frasco de reactivo para la hora COD.
- ❖ Utilice la jeringa suministrada para añadir exactamente 0,2 mL de muestra, manteniendo el frasco en 45° de Angulo.
- ❖ Vuelva a colocar la tapa firmemente y mezclar por inversión el frasco un par de veces.
- ❖ Con la jeringa limpia, agregue al otro frasco de reactivo exactamente 0,2 mL.

Advertencia: como el frasco se pone caliente, tenga cuidado en la manipulación.

- 1) Ejecute un espacio en blanco con cada conjunto de muestras y utilizar la misma caja de muestras.

- 2) Desionizada dos pipetas de precisión aforadas para entregar exactamente 0,2 ml de muestra.
- ❖ Introducir los frascos en el reactor y calor durante 2 horas a 150° C.
 - ❖ Al final del período de digestión del Reactor Hanna será automáticamente interruptor.
 - ❖ Invertir cada frasco varias veces mientras esté todavía caliente, luego colocarlos en la HI 740216 parrilla.
 - ❖ Deje los frascos en el tubo de rejilla a enfriar a temperatura ambiente. No agitar o invertirlos ya que sean las muestras turbias.
 - ❖ Seleccione el número de programa correspondiente a la Demanda Química de oxígeno.
 - ❖ Coloque con cuidado el frasco de bacalao adaptador en el instrumento y compruebe que está correctamente ajustado.
 - ❖ Espere unos segundos y la se visualiza ahora el contador es cero y listo para la medición.
 - ❖ Coloque la muestra en el soporte.
 - ❖ Pulse leer y "SIP" parpadeará durante la medición.



Figura 11. Reactor C 9800 HANNA.

Coliformes Fecales (CF)

Se prepara medio de cultivo, MFC, suficiente para trabajar 5 puntos de muestreo, 4 diluciones y 2 repeticiones por lo que en total son 40 cajas.

- ❖ El material se esterilizó.
- ❖ Se realizó una dilución decimal sucesiva con 7 tubos de ensaye (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7}) y se procedió a trabajar con cuatro diluciones; San Rafael (10^{SD} , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}), Mesillas (10^{SD} , 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-5}), Zertuche, hierbabuena, Planta tratadora (10^{SD} , 10^{-2} , 10^{-4} , 10^{-6}).
- ❖ A cada tubo se le agregó 2.7 ml de agua destilada.
- ❖ Al primer tubo de ensaye se le agregaron 0.3 ml de la muestra, se procedió a mezclar con movimientos circulares.
- ❖ Cambiando puntilla del primer tubo de ensaye se tomaron 0.3 ml de la muestra ya mezclada, y se le agregó al segundo tubo de ensaye mezclando con movimientos circulares.
- ❖ Se realizó el mismo procedimiento para el tercer tubo y de igual manera se procedió a realizar el mismo procedimiento con los otros cuatro tubos de ensaye y se realizaron estos procedimientos haciendo un cambio de puntilla por cada tubo de ensaye.
- ❖ El primer tubo de dilución fue de 10^{-SD} así sucesivamente hasta llegar a 10^{-7} .
- ❖ Se tomó 0.1 ml de dilución y se filtró en una membrana de 0.45 mm de diámetro de $47 \mu\text{m}$ del tamaño de poros, en una bomba de vacío.
- ❖ Se utilizó un embudo, matraz de vacío por cada muestra, la manera de filtración fue del más diluido a lo menos diluido.
- ❖ La filtración de las diluciones fueron las siguientes 10^{SD} , 10^{-2} , 10^{-4} , 10^{-6} .
- ❖ Cada membrana se colocó en una caja Petri con un medio de cultivo MFC, como se observa en la Figura 12.
- ❖ Al término de esta práctica se procedió a incubar las cajas Petri con el medio de cultivo por 24 h a una temperatura de $44.5 \text{ }^\circ\text{C}$.

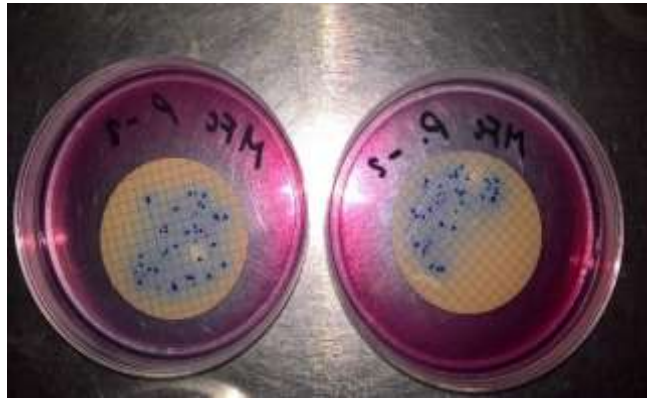


Figura 12. Caja con medio de cultivo de MFC

Coliformes Totales (CT)

Se prepara medio de cultivo, m-endo, suficiente para trabajar 5 puntos de muestreo, 4 diluciones y 2 repeticiones por lo que en total son 40 cajas.

Se realizó el mismo procedimiento mencionado anteriormente con coliformes fecales se preparó el medio de cultivo, m-endo 8 cajas Petri por cada muestra, ya que son 5 puntos de muestreo, 4 diluciones a trabajar y 2 repeticiones por lo que en total son 40 cajas. Se realizó el mismo procedimiento pero ahora en lugar de colocar las membranas en cajas con medio MFC ahora se colocaron en las cajas de m-endo y se incubaron a 37 °C, por 24 h. como se muestra en la Figura 13.

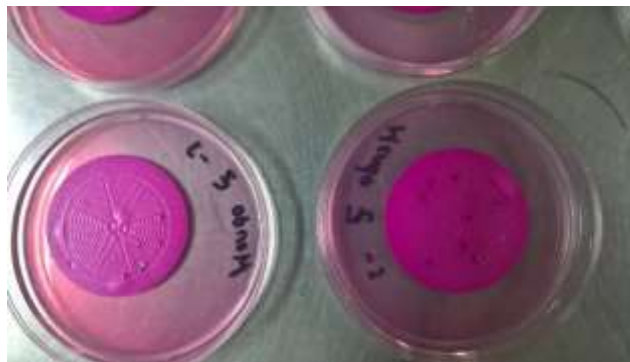


Figura 13. Caja con medio de cultivo de m-endo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los siguientes resultados fueron obtenidos en los puntos de muestreo en el arroyo La Encantada, como se observa en el Cuadro 7. Así mismo en los Cuadros 8 y 9, se muestran las eficiencias de remoción de cada parámetro.

Cuadro 7. Resultados obtenidos en campo y laboratorio

Parámetro	CE	temperatura	SD	Turb	SST	pH	OD	DBO	DQO	CT	CF
Planta R.A	2.44	28.8	1.22	121.6	135	7.96	5.33	59.0	215	4.19E+07	4.90E+06
Hierbabuena	2.3	32.3	1.16	37.17	35.0	8.46	7.90	-3.60	87	9.60E+06	6.00E+05
Zertuche	2.26	31.1	1.11	13.47	16.6	8.27	6.50	-3.0	123	2.51E+07	4.00E+05
Mesillas	2.82	26.0	1.40	12.14	18.3	8.21	9.56	1.30	101	2.40E+05	1.50+04
San Rafael	3.22	25.0	1.60	2.33	15.0	7.76	8.63	-15.0	58	6.25E+04	0

Cuadro 8. Eficiencia de remoción

Punto	Valor CE	% Remoción CE	Valor SD	% Remoción SD	Valor pH	% Remoción pH	Valor T°	% Remoción T°	Valor OD	% Remoción OD	Valor Turb	% Remoción Turbidez
Planta RA	2.44		1.22		7.96		28.8		5.33		121.6	
Hierbabuena	2.30	5.74	1.16	4.92	8.46	-6.28	32.3	-12.15	7.90	-48.22	37.17	69.43
Zertuche	2.26	1.74	1.11	4.31	8.27	2.24	31.1	3.71	6.50	17.72	13.47	63.76
Mesillas	2.82	-24.78	1.40	-26.13	8.21	0.72	26.0	16.40	9.56	-47.07	12.14	9.87
San Rafael	3.22	-14.18	1.60	-14.29	7.76	5.48	25.0	3.85	8.63	9.73	2.33	80.81
PRA-SR		-31.97		-31.15		2.51		13.19		-61.91		98.08

Cuadro 9. Eficiencia de remoción

Punto	Valor SST	% Remoción SST	Valor DBO	% Remoción DBO	Valor DQO	% Remoción DQO	Valor CT	% Remoción CT	Valor CF	% Remoción CF
Planta RA	135.0		59.0		215.0		4.19E+07		4.90E+06	
Hierbabuena	35.0	74.07	-3.6	106.10	87.0	59.53	9.60E+06	7.71E+01	6.00E+05	8.78E+01
Zertuche	16.6	52.57	-3.0	16.67	123.0	-41.38	2.51E+07	-1.61E+02	4.00E+05	3.33E+01
Mesillas	18.3	-10.24	1.3	143.33	101.0	17.89	2.40E+05	9.90E+01	1.50E+04	9.63E+01
San Rafael	15.0	18.03	-15.0	1253.85	58.0	42.57	6.25E+04	7.40E+01	0	100
PRA-SR		88.89		125.42		73.02		9.99E+01		100

4.1 Conductividad eléctrica (CE)

El comportamiento de la conductividad eléctrica durante el camino del agua en el arroyo la encantada es mostrado en la Figura 14, los cambios observados, posiblemente se deban al aporte por la dilución de sales durante el recorrido, por aportaciones de la agricultura, la transpiración y la evaporación del agua, concentrándose más en la parte final del recorrido del arroyo. En el ejido de Zertuche se observa un incremento de este parámetro, debido a lo comentado anteriormente. De acuerdo a la clasificación agronómica del agua esta calidad está en un valor C4 (superior a 2.25 ms cm^{-1}), lo que implica que es agua es de salinidad muy alta y no sería apta para el riego a menos que sea en cultivos tolerantes como es el caso de los forrajes. La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es -31.97 % como se muestra en el Cuadro 8.

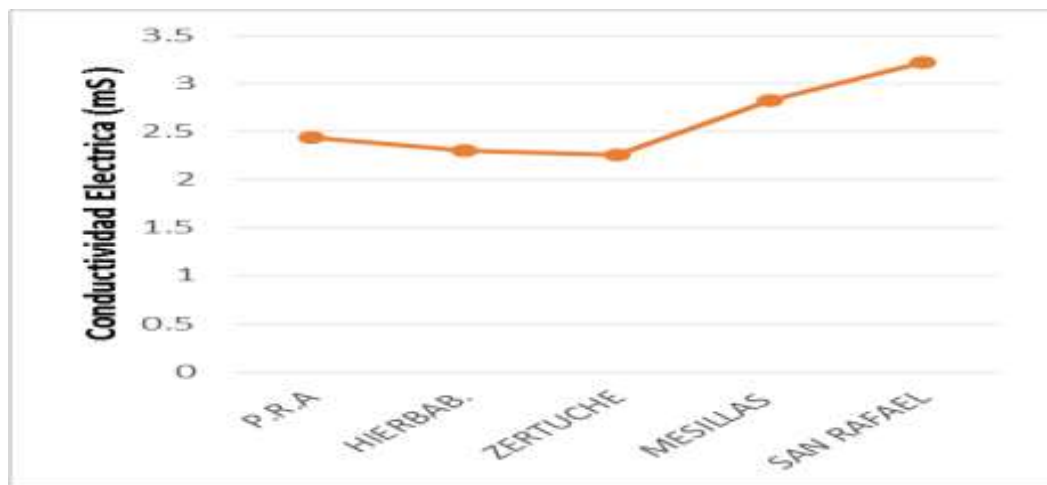


Figura 14. Variación de la conductividad eléctrica.

4.2 Sólidos Disueltos (SD)

Existe una estrecha relación entre los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica. Es decir, si aumenta la conductividad eléctrica aumentan los sólidos disueltos. Delgadillo y colaboradores (2010) hacen mención que el valor de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT). Por lo anterior, el comportamiento de SDT (Figura 15) en el arroyo La Encantada presenta un resultado muy similar a la CE (Figura 14). La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es -31.15% como se muestra en el Cuadro 8.

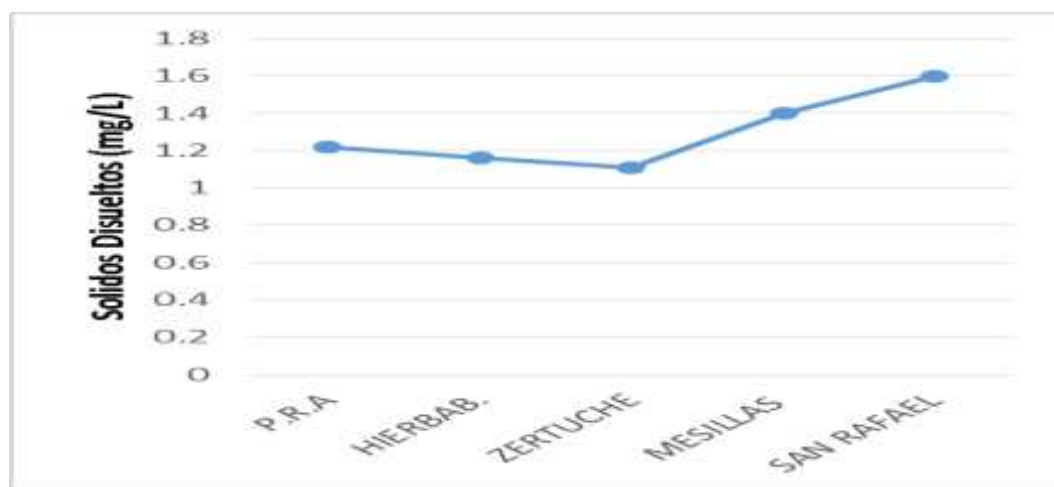


Figura 15. Variación de sólidos disueltos.

4.3 Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH, el rango de los resultados obtenidos en nuestra prueba varía entre 7.77 y 8.45. Delgadillo y colaboradores (2010) mencionan que el pH del agua residual urbana varía entre 6.5 y 8.5. Valores elevados de 9.2 tienen efectos inhibidores del crecimiento de *E. coli*. Cuando los valores están comprendidos entre 5 y 9, siendo los valores de 6.5 y 8 los más favorables para la proliferación de la vida acuática. El pH ácido disuelve los metales pesados, y pH alcalino ocasiona que los metales se precipiten.

El aumento del pH en el arroyo la encantada probablemente se deba al contacto del agua con piedras calizas o calcáreas, a la biología y a la luz del sol. Durante días soleados, rápidamente cultivando algas y plantas liberan el oxígeno y quitan el dióxido de carbono del agua durante la fotosíntesis. Esto puede causar un aumento significativo de niveles de pH. Por la noche las plantas respiran, o emiten el dióxido de carbono y toman el oxígeno del agua. Esto bajará el pH, ya que el dióxido de carbono se combina con el agua para formar el ácido carbónico (Kansas State University, 2016).

Como se muestra en la Figura 16 se presenta un aumento considerable de Planta a Hierbabuena, después el pH fue disminuyendo, las variaciones posiblemente se deban a la hora de muestreo puesto que las muestras se tomaron a hora diferente ya que también puede influir la temperatura ambiente, las plantas existentes que aportan oxígeno tienen mayor actividad fotosintética a cierta hora del día. La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es 2.51% como se muestra en el Cuadro 8.

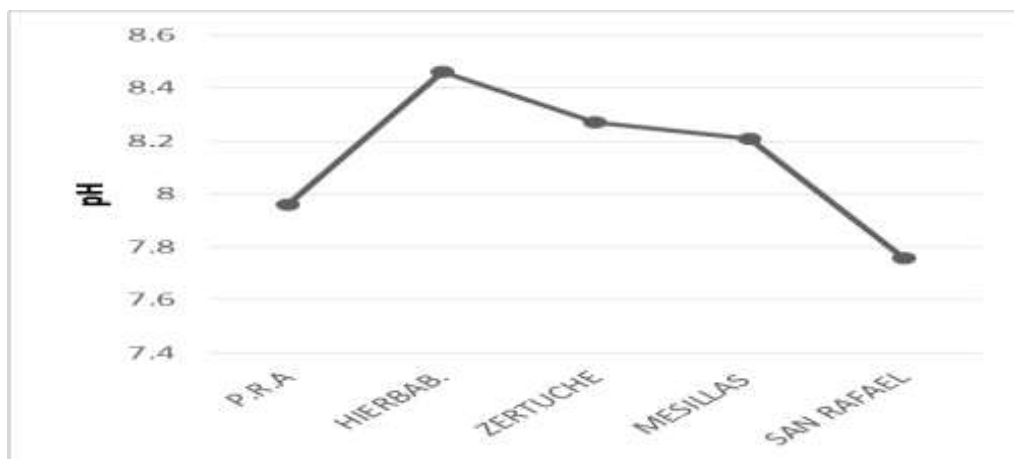


Figura 16. Variación del potencial de hidrógeno.

4.4 Temperatura (t°)

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales (García y Pérez, S/F).

En la Figura 17, se observa el comportamiento de la temperatura, iniciando de planta Ramos Arizpe hasta el ejido de San Rafael. Al inicio tenemos una temperatura alta esto posiblemente se deba a que es en donde desemboca la planta tratadora. Esto también podría deberse a que existe mayor contaminación, ya que en el punto San Rafael, se presenta la menor contaminación y la menor temperatura del agua.

También se puede observar como la temperatura del agua va disminuyendo conforme su trayecto por el arroyo esto se puede deber a que existe suficiente maleza o árboles que eviten la exposición del agua a los rayos del sol en esa parte del arroyo. La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es 13.19% como se muestra en el Cuadro 8.

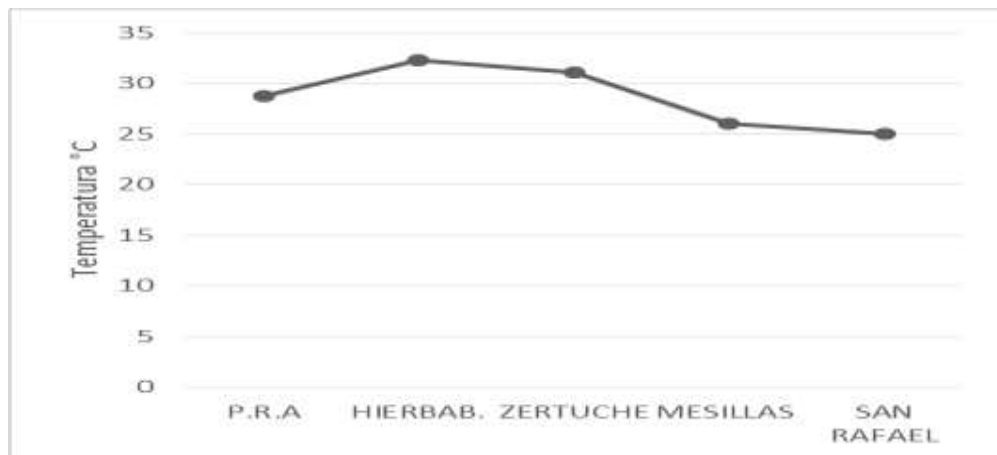


Figura 17. Variación de la temperatura.

4.4 Oxígeno Disuelto (O₂)

En casi todas las aguas la cantidad de oxígeno disuelto es variable. En aguas naturales y residuales, depende de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. En agua pura, a la temperatura ambiente, el oxígeno se disuelve a una concentración aproximada de 8.5 mg L⁻¹. La solubilidad disminuye conforme aumenta tanto la cantidad de sólidos disueltos así como la temperatura, pero se incrementa al aumentar la presión. El análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la contaminación del agua, y en el control del proceso de tratamiento de aguas residuales (UNAM, 2013).

La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es 2.51%, como se muestra en el Cuadro 8. El incremento de OD podría deberse a la acción que efectúa el arroyo durante el recorrido del agua como son los remolinos, cuando el agua choca con las piedras, ya que con esa acción se aumenta la concentración de oxígeno.

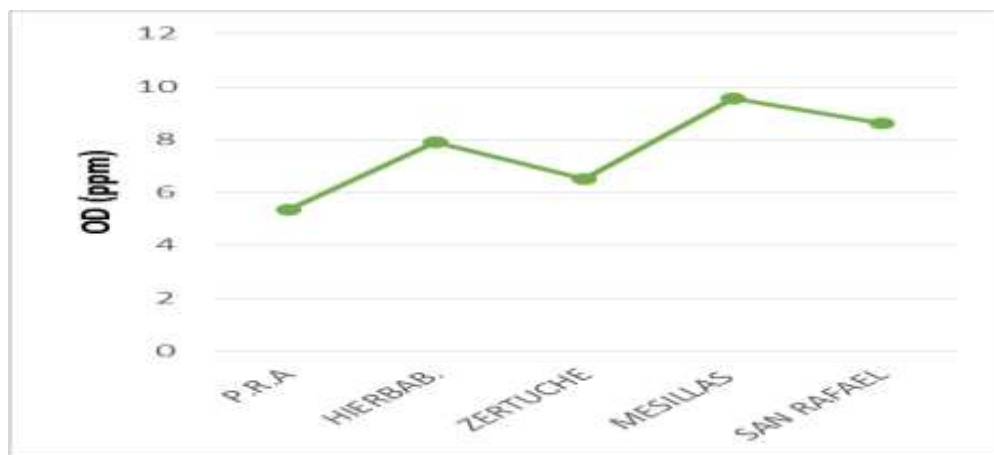


Figura 18. Variación de oxígeno disuelto.

4.6 Turbidez (Turb)

El valor, relativamente alto, de la turbiedad, posiblemente es ocasionado por la mezcla de aguas residuales tratadas y no tratadas de Saltillo y Ramos Arizpe, al inicio del recorrido o al aumento en la velocidad del flujo, ya que esto ocasionará un desprendimiento de los sedimentos en el lecho del arroyo. El valor de turbiedad disminuye en el transcurso del recorrido a causa de la sedimentación de partículas de materia orgánica, arcilla y otros elementos sedimentables en el fondo y adhesión en la orillas del arroyo, como se observa en la Figura 19. En el punto de planta de tratamiento se observó el valor más alto, ya que ahí desemboca es la mezcla de agua residual tratada y cruda, también se puede observar cómo van descendiendo los niveles de turbiedad, esto posiblemente se deba a las plantas y rocas que ayudan a depurar el agua por el transcurso del arroyo. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, ya que cuanto más turbia menor será su calidad y coincide con los resultados obtenidos. Cuanto menor es la turbiedad de un agua, menor es la concentración de microorganismos, bacterias y partículas en suspensión. La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es 98.08% como se muestra en el Cuadro 8.

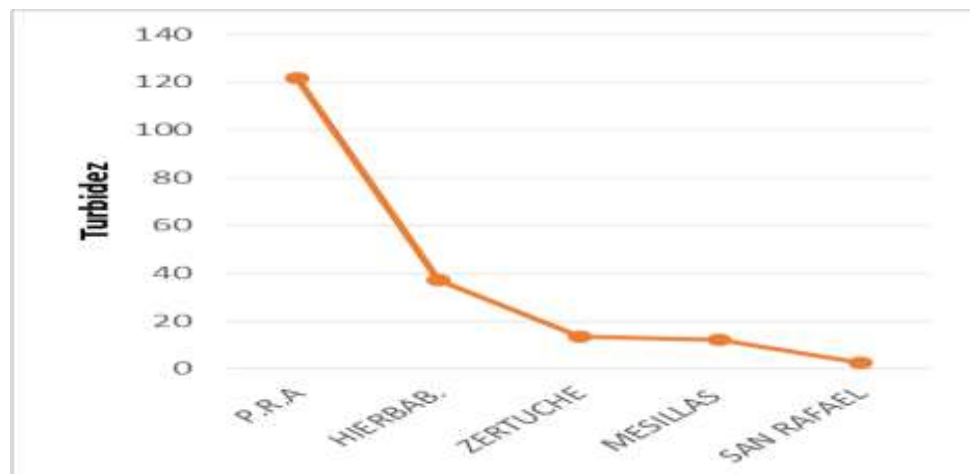


Figura 19. Variación de la turbidez.

4.7 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Al momento de circular el agua por el cauce, es razonable que disminuya el material en suspensión que en ella lleva, Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables (IDEAM, 2007).

Los resultados mostrados en la Figura 20, son buenos, ya que indican que hay una depuración en el arroyo, el valor más alto fue obtenido de donde desemboca la planta tratadora y es razonable ya que el agua no ha recorrido una gran distancia para que las plantas y las rocas puedan ayudar a la autodepuración. Después de la planta tratadora, se observa un descenso. El comportamiento de las concentraciones de SST se observa, en este caso, relacionada con el valor de la turbidez, como se observa en la comparación en las Figura 19 y 20. Entre los ejidos Zertuche y Mesillas hay un ligero aumento, esto posiblemente se debe a la presencia de ganado bovino, equino y caprino que pastorean libremente y al momento de entrar al arroyo puedan desprender los sólidos que están adheridos a las rocas a las plantas. La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es 88.89% como se muestra en el Cuadro 9.

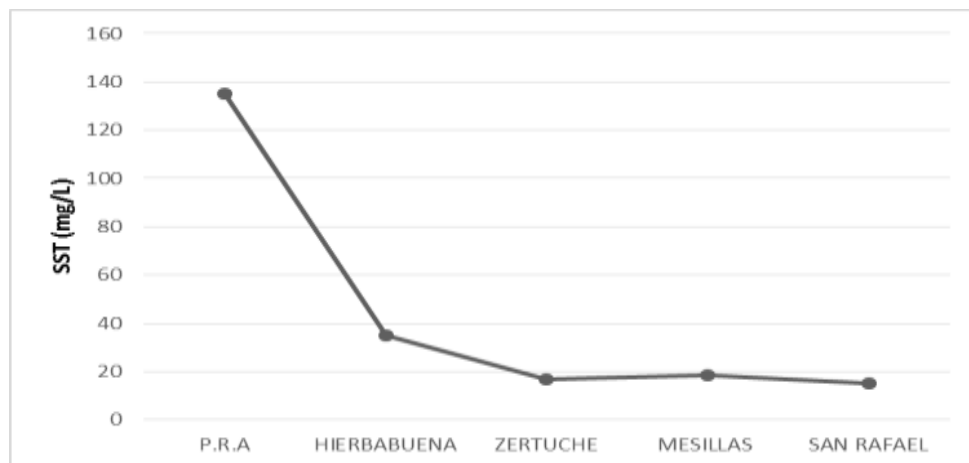


Figura 20. Variación de Sólidos Suspendidos Totales.

4.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido (HIDRITEC, 2011).

En la Figura 21, se muestra una concentración alta de demanda química de oxígeno en Planta Ramos Arizpe (PRA) esto posiblemente se deba a la combinación de agua residual tratada y no tratada de Saltillo y Ramos Arizpe, así como la degradación de materia orgánica existente en la corriente, disminuyendo al consumir oxígeno las bacterias para la degradación de materia orgánica, en el ejido de Hierbabuena al ejido de Zertuche hay un aumento y posiblemente se deba a la materia orgánica incorporada por el ganado pastoreado en las orillas del arroyo, en el ejido de Mesillas la concentración baja y esto posiblemente se deba a que el agua del arroyo se filtra a través del suelo recobrando su cauce antes de llegar al ejido de San Rafael. La eficiencia de remoción encontrada en todo el recorrido del agua es 73.02 % como se muestra en el Cuadro 9.

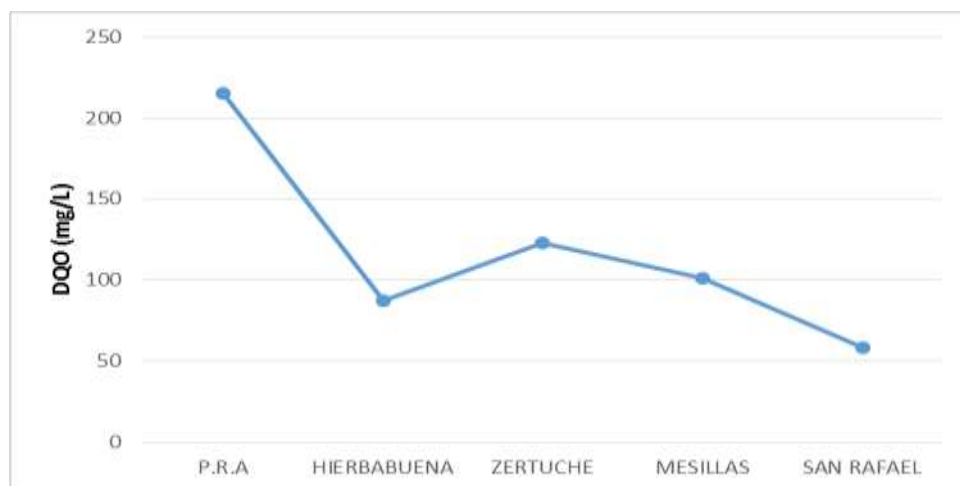


Figura 21. Variación de la Demanda Química de Oxígeno.

4.9 Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO₅)

La DBO es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Es por tanto una medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos (HIDRITEC, 2011).

En la Salida de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de Ramos Arizpe tiene una concentración muy alta (Figura 22) esto posiblemente se deba a que el agua cuenta con mayor cantidad de materia orgánica y menor cantidad de oxígeno debido a que es donde desemboca la PTAR, después de planta existe una disminución, posiblemente, ocasionada por el consumo de oxígeno por las bacterias para degradar la materia orgánica. Molero, y colaboradores (1979) ilustran la autodepuración en la corriente (Figura 23). Del ejido Zertuche a Mesillas hay un aumento de DBO₅, posiblemente debido a las descargas de agua de los ejidos y actividades tales como la ganadería. Del ejido Mesillas a San Rafael existe una disminución considerable, debida que en una parte del arroyo el agua se infiltra en el suelo recobrando su cauce más adelante para seguir hacia San Rafael. La eficiencia encontrada en todo el recorrido del agua es 125.42% como se muestra en el Cuadro 9.

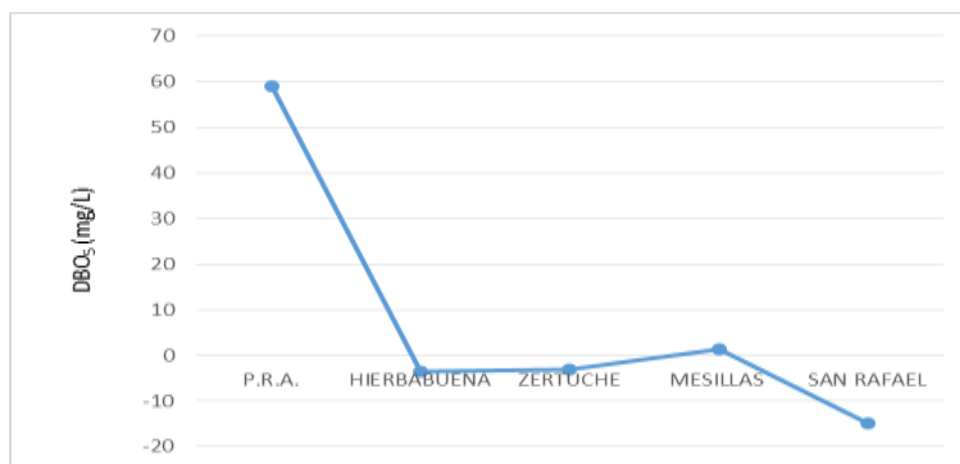


Figura 22. Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno.



Figura 23. Consumo de materia orgánica, oxígeno disuelto y oxigenación de una corriente (Molero, *et al.*, 1997).

4.10 Coliformes Fecales (CF)

La calidad microbiológica del agua se determina por microorganismos indicadores de contaminación, los cuales pueden indicar la presencia de otros microorganismos patógenos como: Salmonella y Shigella (Velázquez, *et al.*, 2007).

La Figura 24, muestra una concentración alta de coliformes fecales en donde desemboca la planta tratadora, esto se debe a que hay una mezcla con aguas residuales sin tratar, disminuyendo considerablemente por la exposición del agua a la radiación solar, altas temperaturas, depredación y a condiciones desfavorables para la reproducción de ciertos microorganismos. Los procesos naturales que se llevan a cabo en el recorrido del agua sirven como un proceso de autodepuración en el transcurso del arroyo La Encantada.

El descenso en la concentración de coliformes fecales como se muestra en la Figura 24, se debe a la autodepuración que existe en el arroyo, que consiste en las rocas, las plantas que conforman el arroyo, ayudándole a disminuir sus niveles de contaminación. La eficiencia encontrada en todo el recorrido del agua es 100% como se muestra en el Cuadro 9.

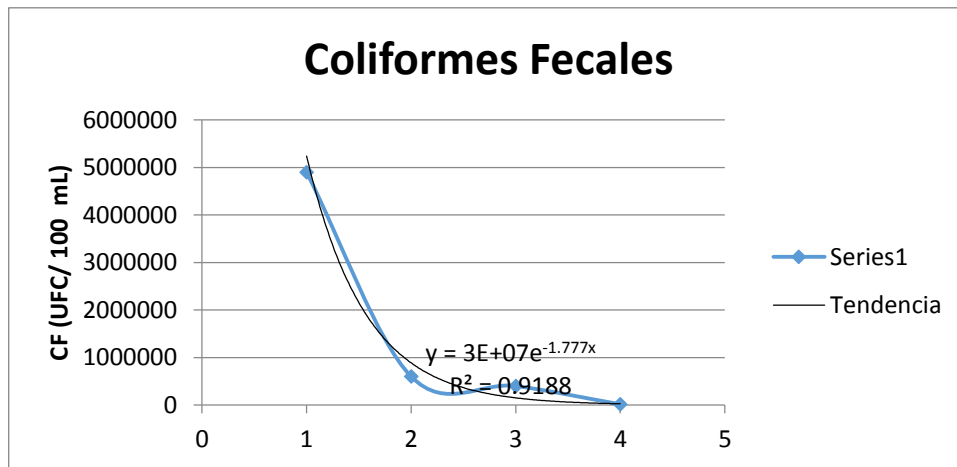


Figura 24. Variación de Coliformes Fecales.

(1) Planta Ramos Arizpe (2) Hierbabuena (3) Zertuche (4) Mesillas (5) San Rafael

4.11 Coliformes Totales (CT)

En el primer punto, la concentración de coliformes totales es más elevada (Figura 25), debido a mezcla de aguas residuales tratadas y sin tratar. Después de planta se puede observar como la concentración de coliformes totales tiende a bajar hasta ocasionada por la autodepuración del arroyo. La eficiencia encontrada en todo el recorrido del agua es 99.85% como se muestra en el Cuadro 9.

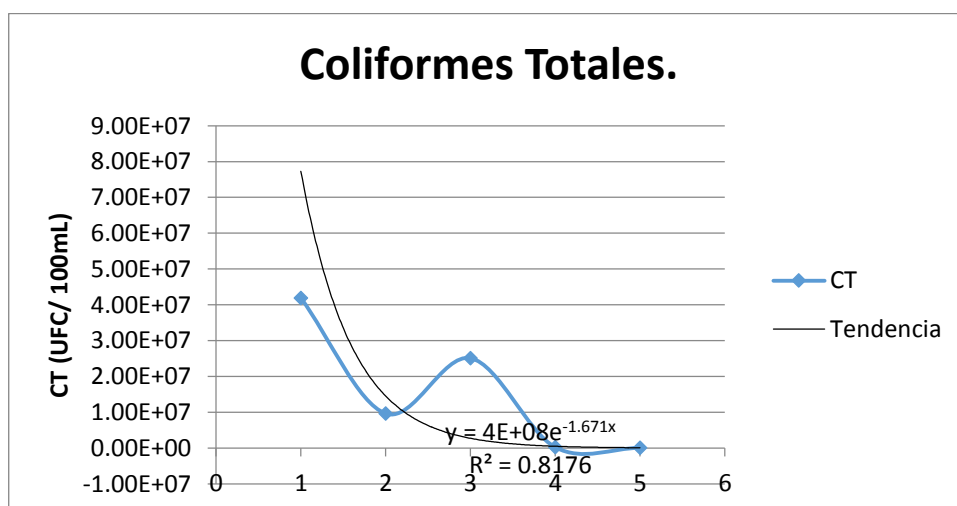


Figura 25. Variación de Coliformes Totales

(1) Planta Ramos Arizpe (2) Hierbabuena (3) Zertuche (4) Mesillas (5) San Rafael

5. CONCLUSIONES

La calidad del agua residual en algunos de los ejidos usuarios (Planta tratadora, Hierbabuena, Zertuche y Mesillas), no es apta para el riego de algunos cultivos hortícolas, ya que no cumplen con las normas NOM-001-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997, en algunos parámetros (CE, SD, DQO). Sin embargo, los ejidos aprovechan el agua residual para regar principalmente cultivos forrajeros, (alfalfa, pasto, sorgo forrajero) y usarla en ganadería. En ejido Mesillas y San Rafael el agua posiblemente es contaminada por los excesos del escurrimiento de agua que existen en tiempos de lluvias y por las excreciones de los animales sueltos en el arroyo. Sin embargo, el agua residual mantiene la vida de los animales de la zona como es el ganado bovino, caprino y equino, y la economía de los agricultores usuarios del arroyo.

La corriente del arroyo La Encantada funciona como una fuente autodepuradora pero no lo suficiente para el reúso del agua en otras actividades más remunerables.

Queda claro que las aguas residuales tratadas son totalmente indispensables para las actividades agropecuarias de los ejidos Hierbabuena, Zertuche, Mesillas, San Rafael y Paredón, aunque este último ejido no contaba con agua en las fechas de muestreo, esto sucede con frecuencia y podría deberse a la pérdida por infiltración, evaporación, y la mala distribución que se le da por parte de los ejidos cercanos.

Esta investigación sirvió para conocer que las aguas del arroyo “La Encantada” deberían de seguir usándose para riego agrícola, dado que estas familias cubren sus necesidades de sobrevivencia con los ingresos que obtienen por la siembra de sus forrajes y/o por la venta de sus ganados o subproductos.

6. RECOMENDACIONES

En el punto San Rafael se encuentra un afloramiento de agua por lo que construir sistemas de almacenamiento sería una buena manera de aprovechar agua de buena calidad teniendo la oportunidad de utilizarla en actividades más remunerables.

Exigir a las industrias y parques industriales que den debido tratamiento a sus aguas residuales y se les realicen auditorias para que no exista una contaminación ilegal.

Por otra parte, se sugiere a los usuarios hacer un uso sustentable y eficiente de las aguas, es decir, evitar que grandes volúmenes de éstas se pierdan por evaporación o infiltración, utilizar sistemas de riego más eficientes, o bien usar solo la cantidad requerida para sus cultivos y animales.

Se recomienda la aplicación de sistemas naturales de tratamiento para incrementar la calidad del agua y así poder ser usada en cultivos más rentables.

7. REFERENCIAS

- Aguilera, G. E. N, Tobón E. G, Samaniego M. I, Díaz J. , I., Carlos H. S., & Valdés, R. A. 2013. Reúso de Aguas Residuales Municipales Tratadas en la Región Saltillo-Ramos Arizpe-Arteaga (primera ed.). Saltillo, Coahuila, México: Valle de Cándamo.
- Arce, V. A. L., Calderón, M. C. G., & Tomasini, O. A. C. 2007. Fundamentos Tecnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales. México D.F.
- CEMDA. 2011a. El Agua en México: Lo que Todas y Todos Debemos de Saber. Obtenido de https://www.Cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-México_001.pdf
- CEMDA. 2011b. El Agua en México: Lo que Todas y Todos Debemos Saber. Obtenido de https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-México_001.pdf
- CNA. 2001a. Fundamentos Tecnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales. D.F. México: La Gerencia de Recaudación y Control de la Subdirección General de Administración del Agua.
- CNA. 2001b. Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales. D.F. México.: La Gerencia de Recaudación y Control de la Subdirección de Agua.
- CNA. 2003. Problemas en el Abasto Nacional de Agua. Obtenido de http://www.Senado.Gob.Mx/Comisiones/Recursos_Hidraulicos/docs/doc12.pdf
- CNA. 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. En Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de Tecnología Simplificada (pág. 329). Coyoacán, D.F., México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de <http://www.Conagua.Gob.mx/Conagua07/Publicaciones /libros/11Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de Tecnologia Simplificada.pdf>
- CNA. 2010. Estadísticas del Agua en México. Coyoacán, Mexico, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de <http://www.Conagua.Gob.Mx/Conagua07/Publicaciones/Eam2010-16Junio2010.pdf>
- CNA. 2015. Estadísticas del Agua en México. Obtenido de <http://www.Conagua.Gob.Mx/Conagua07/Publicaciones/Publicaciones/Eam2015.pdf>
- COLPOS. 1992. NMX-F-308-1992. Alimentos - Cuenta de Organismos Coliformes. obtenido de <http://www.Colpos.Mx/Banco de normas/NMexicanas/NMX-F-308-1992.pdf>

- CONAGUA. 2015. Reutilización de Aguas Residuales en México. Obtenido de [http://files.Conagua.Gob.Mx/Transparencia/Reutilizaci%
c3%93n-ar-son.pdf](http://files.Conagua.Gob.Mx/Transparencia/Reutilizaci%c3%93n-ar-son.pdf)
- CONAGUA. 2016a. Estadísticas del Agua en México. Obtenido de http://201.116.60.25/Publicaciones/Eam_2016.pdf
- CONAGUA. 2016b. Estadísticas del Agua en México. obtenido de http://201.116.60.25/publicaciones/eam_2016.pdf
- CONAGUA. 2016. Procedimiento de Muestreo, Análisis y Reporte de Calidad de las Aguas Residuales. México. Obtenido de [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/declaragua/procedimiento_muestreo.p
df](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/declaragua/procedimiento_muestreo.pdf)
- De la Peña, M. E., Ducci, J., & Zamora, P. V. 2013a. Tratamiento de Aguas Residuales en México. Copyright. Obtenido de [http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/tratamiento_
de_aguas_residuales_en_mexico.pdf](http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/tratamiento_de_aguas_residuales_en_mexico.pdf)
- De la Peña, M. E., Ducci, J., & Zamora, V. 2013b. Tratamiento de Aguas Residuales en México. Obtenido de [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5931/tratamiento%20de%
20aguas%20residuales%20en%20m%c3%a9xico.pdf?sequence=4](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5931/tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20en%20m%c3%a9xico.pdf?sequence=4)
- Delgadillo, O., Camacho, A., F. Pérez, L., & Andrade, M. 2010. Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales. Cochabamba-Bolivia: Centro Andino para la Gestión y uso del Agua (centro agua).
- Diario Oficial de la Federación. 2001a. Análisis de Agua-Determinación de la Demanda Bíoquímica de Oxígeno en Aguas. México, D.F.
- Diario Oficial de la Federación. 2001b. Análisis de Agua - Medición de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas.- Método de Prueba - Parte 1 - Método de Reflujo Abierto - (Cancela a la NMX-AA-030-SCFI-2001). México, D.F.
- Dirección de Desarrollo Económico de Saltillo. 2015. Clima del Área Metropolitana de Saltillo 2004-2014 (Primera ed.). Saltillo, Coahuila, México.
- Espigares, G. M., & Pérez, L. J. A. (S/F). Aguas Residuales Composición. obtenido de [http://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/libros/logo/pdf/aguas_r
esiduales_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/libros/logo/pdf/aguas_residuales_composicion.pdf)
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. 2012. Visión General del Agua en México. Obtenido de <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/>

- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. 2011. NMX-AA-038-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- García M. I., Betancort, R. J. R., Salas, R. J. J., Peñate, S. B., Piedre, B. J. R., & Sardón, M. N. 2006. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas para Pequeños Núcleos de Población. en Mejora de la Calidad de los Efluentes (Primera ed., pág. 128). Canarias: Instituto de Tecnología de Canarias. Obtenido de <http://www.cienciacanaria.es/files/guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>
- Gas Natural México S.A. de C.V. 2008. Distribución de Gas Natural para el Proyecto Freightliner Ciudad Derramadero, en el Municipio de Saltillo, Coahuila. Preventivo de Impacto Ambiental, Saltillo Coahuila. Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiradocs/documentos/coah/estudios/2008/05co2008g0005.pdf>
- Gobierno del Municipio de Saltillo. 2014. Revisión y Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Saltillo. Descriptivo, Saltillo. Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de <http://transparencia.salttillo.gob.mx/transparencia2/attachments/article/388/actualizacion%20pddu%20salttillo%202014.pdf>
- HIDRITEC. 2011-2016. Tratamiento de Aguas Residuales y Disminución de DQO. Obtenido de <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>
- IDEAL. 2006. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular del Saneamiento Integral de las Aguas Residuales del Municipio de Saltillo, Coahuila. México.
- IDEAM. 2007. Obtenido de Sólidos Suspendidos Totales en Agua Secados a 103-105°C: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/s%c3%b3lidos+suspendidos+totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- Kansas State University. 2016. Horticulture and Natural Resources. Obtenido de Color, Olor, Temperatura y pH: <http://hnr.k-state.edu/extension/forestry-natural-resources/ciencia-de-los-ciudadanos/pruebas-del-agua/color-olor-temperatura-y-ph.html>
- Mendoza-Espinosa, I. G. 2012a. Reutilización de Aguas Tratadas . Obtenido de http://www.foroconsultivo.org.mx/eventos_realizados/foro_agua_2012/presentaciones/mendoza.pdf

- Mendoza-Espinoza, I. G. 2012b. Reutilización de Aguas Tratadas. Obtenido de http://www.foroconsultivo.org.mx/eventos_realizados/foro_agua_2012/presentaciones/mendoza.pdf
- Molero, F. J., Saez, M. J., & Soler, A. , A. 1997. La Autodepuración en las Corrientes de Agua. Obtenido de http://www.academia.edu/10016236/la_autodepuraci%c3%b3n_en_las_corrientes_de_agua
- ONU. 2015. Calidad del Agua. Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- PROFEPA. 1998. Norma Oficial Mexicana nom-002-ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de. obtenido de <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3295/1/nom-002-semarnat-1996.pdf>
- PROFEPA. 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reusen en Servicios al Público. Obtenido de <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3297/1/nom-003-semarnat-1997.pdf>
- República de Colombia, Instituto Nacional de Salud. 2011. Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua. Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio, 95.
- Reutelshofer, T., & Guzmán, B. I. F. 2015. Guía para la Toma de Muestras de Aguas Residuales (Periagua ed.). La Paz, Bolivia. Obtenido de https://periagua.webmo.info/img_auth.php/7/7f/guia_para_la_toma_de_muestra_de_agua_residual.pdf
- SEMARNAT. 2006. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Ciudad de Ramos Arizpe, Coahuila. Obtenido de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiradocs/documentos/coah/estudios/2006/05co2006hd008.pdf>
- SEMARNAT. 2013.2014. El Medio Ambiente en México. Obtenido de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html
- Tobón de Garza, G., Aguilera, G. E. N., & Valdés, R. a. 2010. Información de la Planta de Aguas Residuales (PTART) de Ramos Arizpe. Saltillo. Obtenido de proyecto COAH-2010-C14-149646: Plan Integral de Reúso de las Aguas Residuales Municipales Tratadas de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

- Tabón G., Samaniego, M. I., Valdés, A., Herrera, M., R., Díaz, J. I., & Carlos, S. 2010. Proyecto COAH-2010-C14-149646: Plan Integral de Reúso de las Aguas Residuales Municipales Tratadas de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Obtenido de Información de la Planta Tratadora de Aguas Residuales Principal de Saltillo: <http://www.larr.mx/02%20informacionptar%20principasaltillo.pdf>
- UNAM. 2013. Tratamiento de Aguas. Manual del Laboratorio. Cuautitlan Izcalli. Obtenido de http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamientodeaguas_manualprac.pdf

ANEXO

Cuadro 10. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

PARAMETROS (mg/L), EXCEPTO CUANDO SE ESPECIFIQUE	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	USO EN RIEGO AGRICOLA (A)		USO PUBLICO URBANO (B)		PROTECCION DE VIDA ACUATICA ©		USO EN RIEGO AGRICOLA (B)		USO PUBLICO URBANO ©		EXPLOTACION PESQUERA, NAVEGACION Y OTROS USOS (A)		RECREACION (B)		ESTUARIOS (B)		USO EN RIEGO AGRICOLA (A)		HUMEDADES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
TEMPERATURA °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A	N.A	40	40
GRASAS Y ACEITES (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
MATERIA FLOTANTE (3)	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE	AUSEN TE
SOLIDOS																				
SEDIMENTABLES (m/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2
SOLIDOS																				
SUSPENDIDOS TOTALES	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150
NITROGENO TOTAL	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A
FOSFORO TOTAL	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A

(1) Instantáneo, N.A. = No es aplicable, (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual:

Cuadro 11. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997

PROMEDIO MENSUAL					
TIPO DE REUSO	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h l ⁻¹)	Grasas y Aceites mg l ⁻³	DBO ₅ mg l ⁻¹	SST mg l ⁻¹
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	<= 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCACIONAL	1000	<= 5	15	30	30