

Reúso de aguas residuales municipales tratadas en la región Saltillo-Ramos Arizpe-Arteaga



Primera edición
Editorial Valle de Cándamo

ISBN

Elsa Nadia Aguilera González
Gloria Tobón Echeverri
Luis Samaniego Moreno
Lourdes Díaz Jiménez
Salvador Carlos Hernández
Alfredo Valdés Ramos

Saltillo, Coahuila, 2013

Reúso de aguas residuales municipales tratadas en la región Saltillo - Ramos Arizpe - Arteaga

**Elsa Nadia Aguilera González
Gloria Tobón Echeverri
Luis Samaniego Moreno
Lourdes Díaz Jiménez
Salvador Carlos Hernández
Alfredo Valdés Ramos**

**Primera Edición
Editorial Valle de Cándamo
Saltillo, Coahuila, 2013.**

Información generada por el grupo de trabajo del proyecto 140646 del Fondo Mixto Conacyt – Estado de Coahuila:

Elsa Nadia Aguilera González, Comimsa
Gloria Tobón Echeverri, Consultora
Luis Samaniego Moreno, UAAAN
Lourdes Díaz Jiménez, Cinvestav Saltillo
Salvador Carlos Hernández, Cinvestav Saltillo
Alfredo Valdés Ramos, Comimsa

La información aquí publicada es responsabilidad de los autores.

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento, por cualquier medio, sin consentimiento por escrito de los editores.

Impreso en México.

ISBN en trámite.

Contenido

Agradecimientos	6
1. Introducción	8
2. Sistemas de alcantarillado Municipales de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga	11
2.1. Introducción	12
2.2. Información general de las ciudades de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.....	13
2.3. Sistemas de alcantarillado municipales	15
2.3.1. Saltillo	15
2.3.1.1. Historia de la Red de Drenaje Sanitario	15
2.3.1.2. Situación actual de la red de drenaje sanitario de Saltillo	21
2.3.1.3. Descarga de aguas residuales a cielo abierto	22
2.3.2. Ramos Arizpe.....	22
2.3.2.1. Historia de la Red de Drenaje Sanitario de Ramos Arizpe	22
2.3.2.2. Situación de la red de drenaje sanitario de Ramos Arizpe en 2005 y 2010.....	23
2.3.2.3. Descarga de aguas residuales a cielo abierto	24
2.3.3. Arteaga	24
2.3.3.1. Historia de la Red de Drenaje Sanitario	24
2.3.3.2. Situación de la red de drenaje sanitario de Arteaga en 2005 y 2010	24
2.3.3.3. Descarga de aguas residuales a cielo abierto	27
2.4. Coberturas de alcantarillado de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga en comparación con la de otras ciudades de Coahuila	27
2.5. Conclusiones.....	29
3. Tratamiento de aguas residuales municipales en las Plantas tratadoras de Saltillo y Ramos Arizpe	30
3.1. Introducción	31
3.2. Planta Tratadora Principal de Saltillo	32
3.2.1. Parámetros de Diseño	33
3.2.2. Flujos de entrada y salida.....	34
3.2.3. Remoción de los contaminantes principales	35
3.3. Planta Tratadora del Gran Bosque Urbano	37
3.3.1. Parámetros de Diseño	38
3.3.2. Flujos de entrada y salida.....	38
3.3.3. Remoción de los contaminantes principales	39

3.4. Planta Tratadora de Ramos Arizpe	40
3.4.1. Parámetros de Diseño	41
3.4.2. Flujos de entrada y salida	42
3.4.3. Remoción de los contaminantes principales.....	43
3.5. Aguas Residuales Municipales que no reciben tratamiento	44
4. Arroyo La Encantada, depositario final de la mayor parte de las aguas residuales de Saltillo y Ramos Arizpe.....	46
4.1. Introducción	47
4.2. Información geográfica del arroyo La Encantada.....	48
4.3. Historia del arroyo La Encantada	49
4.3.1. Hasta los años setenta del siglo XIX	49
4.3.2. Desde los años setenta del siglo XIX hasta la construcción de las PTARM en Saltillo y Ramos Arizpe.....	50
4.3.3. Desde la construcción de las PTARM en Saltillo y Ramos Arizpe	51
4.4. Caudales y aforos del Arroyo La Encantada	51
4.5. Principales contaminantes del agua del Arroyo La Encantada	54
4.5.1. Variación de la calidad del agua del arroyo La Encantada	56
4.6. Valor ecológico del Arroyo La Encantada.....	58
4.6.1. Flora.....	59
4.6.2. Fauna	61
4.6.3. Recarga de acuíferos	63
4.7. Aspectos Socio-económicos	63
5. Reúso actual de las aguas residuales municipales tratadas.....	65
5.1. Introducción	66
5.2. Reúso Urbano	67
5.3. Reúso agrícola	69
5.4. Reúso Industrial.....	72
6. Factibilidad Técnica-Económica de reúso de aguas residuales municipales tratadas	76
6.1. Introducción	77
6.2. Alcances del análisis de factibilidad	77
6.3. Metodología	77
6.4. Evaluación técnica-económica del reúso de las ARMT de las PTAR de Saltillo y Ramos Arizpe .	78
6.4.1. Oferta del agua residual tratada	78

6.4.2. Calidad del agua residual tratada con posibilidad de reúso	79
6.4.3. Demanda del agua residual tratada	80
6.4.3.1. Demanda de agua residual tratada para uso agropecuario.....	80
6.4.3.2. Demanda de agua residual tratada para uso industrial	81
6.4.3.3. Demanda de agua residual tratada para uso urbano	83
6.5. Factibilidad técnica-económica de reutilización del ARMT: Tres escenarios.....	85
6.5.1. Escenario 1. Aprovechamiento máximo del ARMT en uso agropecuario.....	85
6.5.2. Escenario 2. Aprovechamiento máximo del ARMT en uso industrial	87
6.5.3. Escenario 3. Aprovechamiento máximo del ARMT en uso urbano (riego de áreas verdes)	90
7. Conclusiones Generales	94
8. Bibliografía consultada.....	96

Agradecimientos

Los editores de este libro agradecen en forma especial a las siguientes personas, funcionarios públicos y otros habitantes de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga, por la información que proporcionaron, la mayor parte de la cual fue utilizada para la elaboración del presente documento.

Ing. Fausto Destenave Mejía. Ingeniero agrónomo, especialista en Hidrología y conecedor de cuenca de La Encantada. Fotografías de descargas de aguas residuales y de los arroyos del Pueblo y Ceballos

Sr. Manuel Gil Vara. Cronista de la ciudad de Ramos Arizpe, nativo y ex-Alcalde de dicha ciudad. Información sobre la historia del drenaje sanitario de Ramos Arizpe

Sr. Mario Gómez del Bosque. Nativo y ex-Alcalde de Ramos Arizpe. Ex-Director de la empresa pública Servicios de Agua y Alcantarillado de Coahuila (SAPAC)

Ing. Jesús Sánchez Valdovinos. Gerente de SIMAS-Arteaga. Información sobre el drenaje sanitario de Arteaga.

Ing. Eduardo Martínez. Ex-gerente del antiguo organismo operador de Ramos Arizpe, SAPARA. Información sobre el drenaje sanitario de Ramos Arizpe

Ing. Michel Delgado. Encargado de la PTAR de Ramos Arizpe por parte de la compañía DOMUS-Aqua. Información sobre las aguas residuales que llegan a la PTAR de Ramos Arizpe.

Ing. Armando Alonso, Subdelegado de Asistencia Técnica Operativa de la Delegación de CONAGUA en el Estado de Coahuila.

Ing. Antonio Méndez Aguiñaga, Jefe del Depto. de Hidrometría y Climatología de la Delegación de CONAGUA en el Estado de Coahuila

Ing. Tomás Ibarra, Director de Administración del Agua de la Delegación de CONAGUA en el Estado de Coahuila

Ing. Tomás Méndez Aguiñaga, Jefe de Depto. de Saneamiento y Plantas de Tratamiento. Delegación de CONAGUA en el Estado de Coahuila

Lic. Ricardo Aguirre Gutiérrez, Alcalde electo de Ramos Arizpe para el periodo 2014-2017.

Biol. Daniel Garza Tobón, Biólogo y fotógrafo profesional, conecedor de la fauna y la flora locales.

Biol. Andrés Rodríguez Gámez, Biólogo, nativo de Ramos Arizpe y conecedor de la cuenca de La Encantada.

Arq. José María Morales del Bosque, Nativo de Ramos Arizpe.

Sr. Oliverio Gutiérrez, Pequeño agricultor que utiliza agua del arroyo La Encantada para riego de su parcela, nativo de Ramos Arizpe.

Sr. Roberto Leal, Pequeño agricultor que utiliza agua del arroyo La Encantada para riego de su parcela, nativo de Ramos Arizpe.

Maestra Juanita Gómez, Nativa de Ramos Arizpe. Presidenta de la ONG “Valle de las Labores”

Sr. Carlos Perales, Ex-regidor del Ayuntamiento de Ramos Arizpe.

Ing. Jesús Hurtado, Jefe de Distrito de Desarrollo Rural – Saltillo de la SAGARPA

Ing. Jorge Molina Valero, Ex-jefe de oficina, y actual Jefe de Distrito de SAGARPA-Saltillo. Centro de Apoyo al Desarrollo Rural (CÁDER) de Ramos Arizpe.

Ing. Alberto Fuentes Dávila, Responsable de CÁDER de Ramos Arizpe.

Ing. Vicente García Loera, Gerente de Agua Limpia y Saneamiento del CEAS-Coahuila.

Lic. Tlahuiz Segura Teniente, Director de Desarrollo Rural de Ramos Arizpe.

Sr. Víctor Hugo Saldaña, Presidente de la Congregación Santa María.

Sr. Francisco Gil Loera, Comisariado ejidal hasta el 14 de marzo de 2012 del Ejido Mesón del Norte.

Sr. Jorge Loera Galván, Agricultor del Ejido Mesón del Norte.

Sr. Raúl Ariel Salinas Flores, Comisariado ejidal del Ejido Zertuche.

Sr. Juan Cruz Espinoza, Agricultor del Ejido Zertuche.

Sr. Mario Pérez Rubio, Comisariado ejidal del Ejido Higo.

Sr. Benito Obregón González, Agricultor/Guardia de FFCC en el Ejido Higo.

Sr. Guadalupe Meléndez, Comisariado ejidal del Ejido Mesillas.

Joven Christian García Meléndez, Estudiante habitante del Ejido Mesillas.

Sr. Florentino Rodríguez, Comisariado ejidal en el Ejido Paredón.

Sr. Rafael Pérez Salazar, Comisariado ejidal en el Ejido San Francisco Paredón.

Joven Leandro Arreola, Su abuelo es agricultor. Él le ayuda. Ejido San Francisco Paredón.

Dr. Rodolfo Garza Gutiérrez, Ex-Director de Ecología del Estado de Coahuila. Fraccionamiento Lomas de Lourdes, al sur de Saltillo.

Ing. José María Valdés Garza, Productor de nuez en el Fraccionamiento Los Bosques, al norte de Saltillo.

Biol. Antonio López, PROFEPA.

Ing. Román Gutiérrez, encargado de Tratamiento de Agua y Aguas Residuales en el Complejo Automotriz Ramos Arizpe de la General Motors de México.

Ing. Homero Ortiz de la planta de Kimberly Clark en Ramos Arizpe.

Ing. Omar Vizcarra, de la planta de Cementos Apasco en Ramos Arizpe.

1. Introducción

La región sureste del Estado de Coahuila está conformada por 5 municipios que son Saltillo, Ramos Arizpe, Arteaga, General Cepeda y Parras de la Fuente. Sin embargo, es en la zona conurbada formada por los tres primeros municipios donde se concentra una mayor densidad de población, así como una importante y creciente industrialización.

Debido principalmente al crecimiento poblacional, como un resultado del desarrollo de la zona por la instalación de varias empresas de gran relevancia, la demanda para cubrir sus necesidades básicas también han crecido. Este es el caso específico de la cobertura de agua tanto para satisfacer los requerimientos de la población como para el desarrollo de los diferentes procesos industriales.

Las tres ciudades están localizadas en una zona en donde el agua es un recurso escaso. De acuerdo a estudios de disponibilidad de tres de los cuatro acuíferos regionales, realizados por la Comisión Nacional del Agua, su sobreexplotación total es del orden de 33 millones de metros cúbicos/año.

Como una consecuencia de la mayor demanda de agua, surge la necesidad de contar con sistemas de tratamiento adecuados que permitan, por un lado, reincorporar el agua usada al ecosistema sin efectos negativos y, por otro lado, reutilizar el agua residual municipal tratada (ARMT) en diferentes aplicaciones, lo cual podría mitigar el abatimiento de los mantos acuíferos.

A partir del año 2007, en la región se encuentran instaladas, y en operación, tres plantas tratadoras de aguas residuales municipales, la Principal y la del Gran Bosque Urbano en Saltillo y la de Ramos Arizpe. Estas plantas reciben la mayor parte de las aguas residuales municipales, incluyendo parte de las de Arteaga. La capacidad de tratamiento de las Plantas Principal y del Gran Bosque Urbano en Saltillo y la de Ramos Arizpe son de 1,200, 70 y 160 Lps; sin embargo el flujo tratado actualmente en estas tres plantas es bastante menor.

En general, la calidad del efluente secundario de las tres plantas ha cumplido con los requerimientos establecidos en los contratos entre los municipios y las empresas operadoras para dos parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Sin embargo, no está regulado el contenido de sólidos disueltos totales, ni la conductividad de los efluentes. Debido a que el agua de abasto de Ramos Arizpe tiene un contenido más alto de sales que la de Saltillo, también el agua residual (cruda y tratada) tiene valores relativamente altos de esos dos parámetros (conductividad del de 2,000-2,500 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$), más altas que las de las plantas de Saltillo (1,800 y 1,600 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$).

Si bien existen en México una serie de normativas y políticas públicas que estipulan los lineamientos a seguir en cuestión de reúso de las ARMT, aún falta mucho trabajo en la implementación y cumplimiento de las mismas.

Por otro lado, se sabe que existen numerosos proyectos exitosos de reúso de ARMT implementados en varias ciudades de México y otros países; los más conocidos en nuestro país son los de Monterrey y Tijuana. En estos proyectos se han demostrado los efectos favorables del reúso de ARMT sobre el manejo de los recursos hídricos.

Sin embargo, cada proyecto de reúso es un traje a la medida, ya que tanto la disponibilidad del recurso, la calidad del agua de abasto, la distribución del agua entre diferentes tipos de usuarios y los requerimientos de calidad de cada uno de ellos son diferentes en cada ciudad.

Lo cierto es que en el caso de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga, se trata –desde hace más de tres años– un porcentaje importante de las aguas residuales municipales generadas en los dos primeros municipios y existen planes para tratar parte de las del tercero. Sin embargo, el avance en el reúso de las aguas tratadas es ínfimo.

En este sentido, el proyecto “Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga” financiado por el Fondo Mixto Conacyt-Estado de Coahuila, realizó varias actividades con el objetivo de sentar las bases para la estructuración de un Plan de Reúso de Las ARMT de la región. Como un resultado de dicho proyecto surge este libro, el cual es un resumen del análisis de todos los factores involucrados.

Así, en el Capítulo 2 se presenta una visión general del sistema de alcantarillado de las tres ciudades desde su fundación hasta la actualidad.

El Capítulo 3 describe brevemente las características principales de las tres plantas tratadoras de aguas residuales municipales (PTARM) instaladas en la zona.

En el Capítulo 4 se presenta la situación actual de las aguas residuales tratadas, desde sus flujos y calidad hasta su uso actual.

El Capítulo 5 es una reseña breve del arroyo La Encantada, que al ser el principal depositario de las aguas residuales tratadas y sin tratar de la región, reviste gran importancia.

Finalmente, en el Capítulo 6 se plantean tres escenarios de reúso de las ARMT, cada uno de ellos potencializando su reúso a uno de los tres sectores planteados: industrial, agrícola y urbano; entendiendo éste último como el reúso en riego de áreas verdes. En este capítulo se presentan también propuestas de los planes financieros para la implementación de dichos escenarios.

2. Sistemas de alcantarillado Municipales de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga

2.1. Introducción

En la ciudad de Saltillo las redes de alcantarillado datan de principios del siglo pasado mientras que en Ramos Arizpe y Arteaga éstas se crearon varias décadas después. Anteriormente, las aguas residuales se descargaban cerca de las viviendas y, en muchos casos, se utilizaron fosas sépticas. En algunas colonias de las tres ciudades –o en casas aisladas a las cuales no ha llegado la red de alcantarillado-, dicha situación persiste.

Las redes de drenaje se fueron extendiendo con el paso de los años, aunque todavía no abarcan la totalidad de las áreas urbanas. En los años 2006-2008, junto con la construcción de las plantas tratadoras de Saltillo y Ramos Arizpe, se extendieron los emisores para conducir a las mismas el agua de la mayor parte de la red de drenaje sanitario.

Durante muchos años se utilizaron las aguas negras de Saltillo para riego de parcelas agrícolas en los terrenos localizados al norte de esta ciudad, pero a fines de la década de los sesentas del siglo pasado se empezaron a desviar al arroyo La Encantada y a otros afluentes de éste. Varios pequeños propietarios y ejidatarios de Ramos Arizpe han utilizado desde entonces las descargas de aguas negras de Saltillo -sin tratamiento alguno- para riego agrícola de árboles frutales, verduras y forrajes.

En los años ochenta del siglo pasado, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos –SARH- llevó a cabo aforos mensuales en diferentes puntos del arroyo La Encantada. Estos aforos indican que los usuarios principales del agua del arroyo en esa época (ejidatarios y pequeños propietarios localizados entre la zona urbana de Ramos Arizpe y el ejido Mesillas) utilizaban poco menos de 700 Lps, de tal manera que en temporada de estiaje el agua del arroyo se agotaba después de pasar por el ejido Mesillas. También a mediados de los ochentas, la SARH prohibió a los agricultores el riego de verduras con el agua del arroyo, permitiendo únicamente la irrigación de forrajes.

Cabe anotar que el flujo de agua de La Encantada ha aumentado mucho en los últimos años debido al crecimiento de la población de Saltillo y Ramos Arizpe, según se ha podido constatar mediante aforos realizados como parte de las actividades del proyecto que soporta este libro.

Tuvo que pasar más de un siglo –desde la construcción de la primera red de drenaje en Saltillo- para que las aguas residuales municipales se empezaran a tratar. Para las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe, la construcción y puesta en marcha de las plantas tratadoras data de los años 2006-2008. La ciudad de Arteaga no tiene aún una planta tratadora para sus aguas residuales municipales, pero ha habido planes de construir una en la misma ciudad, aunque también ha habido acercamientos con el organismo operador de Saltillo para enviar las aguas negras de Arteaga a la Planta Tratadora Principal de Saltillo, a través de la red de drenaje del noreste de esta ciudad.

En este capítulo se presenta información sobre las redes de alcantarillado de las ciudades en estudio.

2.2. Información general de las ciudades de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga

Las ciudades de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga se encuentran ubicadas al sureste del Estado de Coahuila (Figura 2.1) formando una zona conurbada fuertemente vinculada por sus actividades económicas y servicios. Su fundación data de finales del siglo XVI: Saltillo en 1575, Ramos Arizpe en 1577 y Arteaga en 1591.

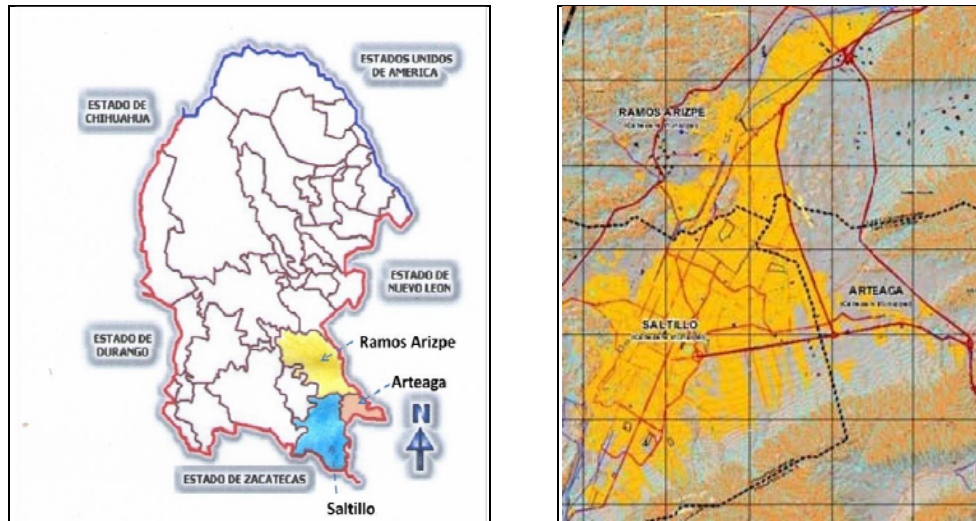


Figura 2.1. a) Localización de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga en el Estado de Coahuila, b) vista de la zona conurbada que forman las tres ciudades.

Los tres municipios, en especial las zonas urbanas de Saltillo y de Ramos Arizpe, han mostrado en los últimos 40 años, un incremento sustancial en su dinámica poblacional, como puede observarse en las Figuras 2.2 y 2.3.

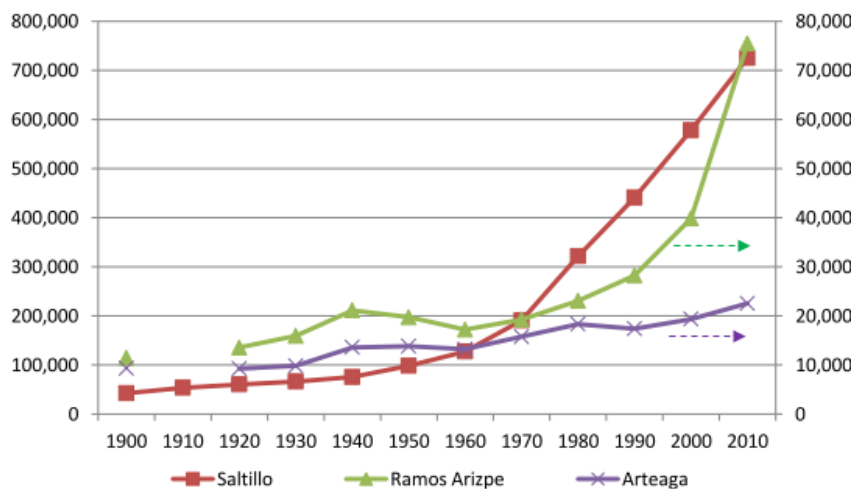


Figura 2.2. Crecimiento poblacional de los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

Es notable que hasta alrededor de 1960 el crecimiento poblacional en los tres municipios siguió una tendencia lineal, y es a partir de 1970 que el crecimiento en Saltillo y Ramos Arizpe se vuelve exponencial, mientras que el de Arteaga se mantiene lineal. Esto concuerda con la naturaleza de las actividades económicas de los municipios, mientras en Arteaga hasta hace pocos años su principal

actividad era la agricultura, en Saltillo y Ramos Arizpe se detonó su desarrollo socioeconómico debido al aumento de actividades industriales de manufactura y de servicios, lo que atrajo un crecimiento poblacional acelerado. Así, mientras el municipio de Arteaga tuvo un incremento poblacional del 143 % entre 1970 y 2010, en el mismo periodo los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe crecieron 380 y 392 %, respectivamente.

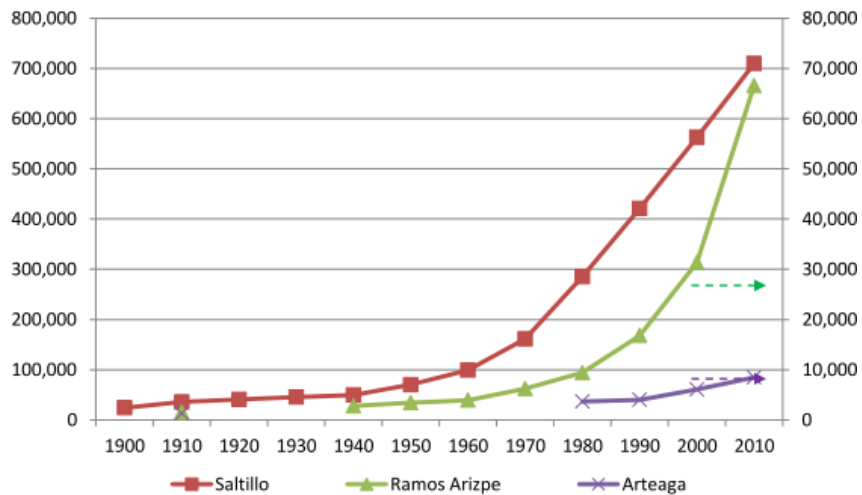


Figura 2.3. Crecimiento poblacional (urbano) de las ciudades de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

En el caso del crecimiento urbano, el comportamiento es similar para Saltillo, observándose que entre 1970 y 2010 su población se cuadruplicó (creciendo un 440 %). La ciudad de Arteaga, a su vez, también creció rápidamente aumentando su población en 401 %. El caso de Ramos Arizpe es más dramático, ya que en 40 años su población aumentó más de 10 veces, pasando de 6,205 habitantes en 1970 a 66,554 en 2010.

Como resulta evidente las poblaciones urbanas de Saltillo y Ramos Arizpe tuvieron un gran incremento a partir de la década de los sesenta del siglo pasado. Mientras el crecimiento de la primera ciudad disminuyó desde la década de los ochentas, el de Ramos Arizpe ha seguido aumentando.

Actualmente, los grados de marginación son bajos en Arteaga y muy bajos en Saltillo y Ramos Arizpe.

La Zona Metropolitana Sureste destaca por su creciente economía basada en el sector manufacturero. El municipio de Ramos Arizpe, que tiene la tasa de crecimiento más alta de Coahuila, alberga más de la mitad de las industrias con que cuenta la Zona Metropolitana. En esta ciudad destacan las empresas General Motors, Chrysler, Fersinsa, Kimberly Clark y Cementos Apasco, entre las más grandes, además de otras menores ubicadas principalmente en cuatro parques industriales: Saltillo-Ramos Arizpe (o PYDECO), Amistad-Aeropuerto, Amistad- Ramos Arizpe y FINSA.

En el municipio de Saltillo se encuentran los parques industriales: Amistad Saltillo Sur, Amistad Saltillo I, Amistad Saltillo II, La Angostura, Fábrica de la Aurora, Santa Mónica y La Trinidad. Además está El Parque Industrial Derramadero, localizado al sur de la ciudad, que es relativamente nuevo, donde se localiza la planta de camiones del Grupo Chrysler; y se tienen disponibles unas 2 mil ha para uso industrial.

En el municipio de Arteaga, la zona industrial se localiza al Oeste, sobre el Boulevard Valdez Sánchez y Fundadores. En los últimos años se ha formado un corredor industrial entre las dos vías, sobre el libramiento Oscar Flores Tapia. Las industrias ahí establecidas son medianas y ligeras.

La Zona Metropolitana cuenta con una buena cobertura en el servicio de abasto de agua potable en las viviendas, siendo del 99% para Saltillo, y 98% para Ramos Arizpe y Arteaga. Los caudales de suministro actual por parte de los organismos operadores son del orden de 1,500, 240 y 70 litros/segundo (Lps), respectivamente. Se calcula que se requieren 600 Lps adicionales para el crecimiento urbano a corto plazo.

Las industrias locales por lo general se abastecen de pozos propios, aunque en Ramos Arizpe, la mayor parte de las industrias pequeñas y medianas reciben agua del organismo operador de la ciudad.

En la región los niveles de sobre-explotación de los mantos acuíferos son altos, lo que se refleja en abatimientos notables y preocupantes de los niveles freáticos.

Finalmente, las Tablas 2.1 y 2.2 presentan la evolución del número de viviendas habitadas y con servicios de agua entubada y drenaje en los municipios y zona urbana de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

Tabla 2.1. Viviendas habitadas y con servicios en los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga

Viviendas / Año	Saltillo		Ramos Arizpe		Arteaga	
	2000	2010	2000	2010	2000	2010
Habitadas	132,943	187,801	9,422	20,299	4,443	5,902
Con agua entubada	123,055	179,316	8,017	18,956	3,615	5,073
Con drenaje	122,257	180,912	7,222	18,324	2,585	5,420

Tabla 2.2. Viviendas habitadas y con servicios en la zona urbana de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga

Viviendas / Año	Saltillo		Ramos Arizpe		Arteaga	
	2000	2010	2000	2010	2000	2010
Habitadas	129,291	183,605	7,294	17,776	1,370	2,151
Con agua entubada	120,522	175,956	6,706	17,315	1,288	2,007
Con drenaje	121,633	178,156	6,890	17,344	1,253	2,054

2.3. Sistemas de alcantarillado municipales

2.3.1. Saltillo

2.3.1.1. Historia de la Red de Drenaje Sanitario

En el Archivo Municipal de Saltillo no existe mucha información sobre los sistemas para evacuación de aguas residuales que se utilizaron en Saltillo antes de la construcción de la red de drenaje sanitario (es decir, sobre los siglos XIX y anteriores).

Sin embargo, se sabe que en el periodo comprendido entre 1850 y 1880 el desagüe constituyó la última etapa del servicio público de agua en la ciudad. Se afirma que dicho subsistema tenía como

objetivo desechar el agua que entraba de más a las fuentes, y por tanto no era, propiamente dicho, un servicio de drenaje. Este subsistema se constituyó en un principio por zanjas a cielo abierto. Al paso de los años la construcción de estas obras se combinó con atarjeas, las cuales eran desagües subterráneos que permitían desalojar el agua con mayor cuidado.

No se define si el ayuntamiento prestó el servicio de drenaje, solo se sabe que las aguas negras eran vertidas a las calles sin el menor recato, concluyendo que las aguas limpias de los acueductos se revolían con las aguas negras y con las de los desagües de las fuentes.

“Los desagües a cielo abierto siempre representaron problemas a los habitantes. Estos obstaculizaron el paso de una acera a la otra y el mal olor que despedían eran una fuente de contaminación. A diferencia de los acueductos, los desagües no tenían movimiento alguno, arrastraban residuos de todo tipo. En 1869 se recibió en el ayuntamiento la siguiente solicitud”:

“...referente al desagüe de la fuente de San Francisco el cual sale a la calle de San Crispín (hoy Arteaga), las molestias que causa ese desagüe está perjudicando al público; el pantano que se ha hecho en la calle que va al campo santo...”

De acuerdo con los autores, en la segunda mitad del siglo XIX, en Saltillo existían cuatro sistemas de desagüe y una atarjea:

1. Desagüe de la fuente de la calle del Reventón
2. Desagüe de la fuente principal para que la conduzca a la Plaza de Toros
3. Desagüe de la fuente del Ateneo
4. Desagüe de la fuente de San Francisco (calle San Crispín, hoy calle Arteaga)
5. Atarjea subterránea de la fuente de la plaza de Rodríguez

Además, se menciona que en relación con el número de fuentes, los desagües eran mínimos. Algo que cabe remarcar es que el servicio de desagüe no solo desechara el agua que llegaba de más, en ocasiones ésta se concesionaba a algún particular para que la empleara en el riego de huertas y jardines.

Por otra parte, en el año 1577, cuando a Saltillo se le daba el nombre de Villa de Santiago, no existía ningún drenaje colector o algo similar; la gente usaba fosas sépticas que construía en sus casas. Estas fosas eran de dos metros de profundidad aproximadamente y un metro de ancho y en la parte superior ponían una madera agujerada con una tapa para evitar las moscas y los malos olores.

Esta situación persistió durante los siglos XVI a XIX; y fue a finales del último cuando se empezó a construir la primera red de drenaje de la ciudad. En la Tabla 2.3 se resume la información histórica disponible sobre el alcantarillado de la ciudad de Saltillo en los últimos 120 años.

Tabla 2.3. Eventos principales en la historia de la Red de Drenaje Sanitario de la ciudad de Saltillo

Año	Acontecimiento
1895	El Gobierno del Estado celebró un contrato para la instalación de las tuberías de agua y drenaje, para 1900 ya estaba colocada gran parte de ellas. Empezaron con unos canales cuadrados de teja de 30 x 30 cm. El material empleado fue el barro. Las primeras redes tenían secciones transversales cuadradas y cerradas.
1903	La población de Saltillo alcanzaba los 30 mil habitantes. Se construyó el primer colector en la Zona Centro de la ciudad, teniendo como límites las calles de Lerdo de Tejada al norte; Ramos Arizpe al sur; General Cepeda al oriente y Manuel Acuña al poniente. Las aguas residuales de este colector descargaban al arroyo La Tórtola. Las aguas residuales de Saltillo se usaron durante muchos años para riego agrícola en varias parcelas al norte de la ciudad, p. ej. Rancho de Peña.
1965	Continuó la construcción del colector principal, ya que la zona donde descargaban las aguas residuales (al norte de Saltillo) empezó a poblarse. Se optó por llevar las aguas negras al arroyo Charquillo (Cárdenas), donde ahora se ubica la empresa De Acero. La calidad del agua del arroyo La Encantada, que atraviesa a Ramos Arizpe, y en el cual desemboca el arroyo Cárdenas, empezó a cambiar a medida que aumentaron las descargas de Saltillo.
1968	Se construyó el colector Guanajuato.
1975	Se construyó el colector Cerro del Pueblo, para dar servicio a las colonias 23 de Noviembre, Nueva Jerusalén, Guayulera y otras del sector poniente.
1977	Se construyó el colector Satélite, para dar servicio a las colonias Saltillo 2000 y Las Torres.
1980	Le siguió el colector Vista Hermosa, que benefició a las colonias Vista Hermosa, Morelos y Fundadores.
1985	Se construyó el colector Periférico, para servir a las colonias Lomas de Lourdes, Guerrero, Hidalgo y sectores aledaños.
1986	Se construyó el colector Chanchaca, que conecta con el sistema de saneamiento principal y sirve a zonas habitacionales del Centro de Saltillo.
2004	Se concluyó el colector Fundadores, que benefició a las colonias Mirasierra y Zaragoza con sus diferentes sectores.

Fuente: Aguas de Saltillo, 2010, complementada con datos encontrados en el Archivo Municipal de Saltillo.

El plano que se presenta en la Figura 2.4a muestra el colector Principal (construido en 1903), junto con su continuación en 1965 y el colector Guanajuato, construido en 1968; mientras que la Figura 2.4b presenta un plano que data de 2005, en el que se muestran los colectores principales construidos en 1965-2004, en el que se indica la fecha de su construcción

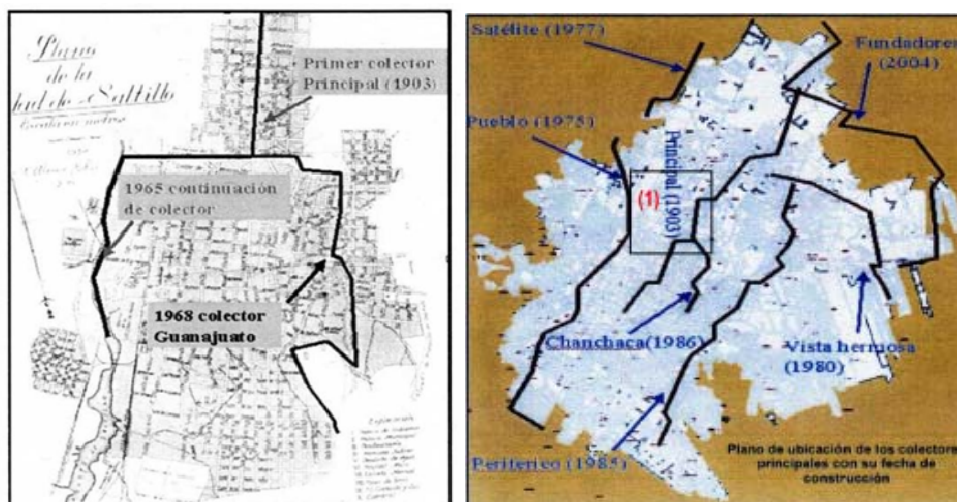


Figura 2.4. a) Plano antiguo de la ciudad de Saltillo, b) ubicación de los colectores principales construidos en 1965-2005

Por otro lado, de acuerdo con otras investigaciones, se indica que en 1985 "...el sistema de alcantarillado de la ciudad de Saltillo está dividido en 3 zonas, formadas por el Colector Principal, el Colector Oriente y el Colector Poniente..."

El Colector Principal estaba conformado con una parte de un colector construido anteriormente y que había sido ampliado para satisfacer la creciente demanda de la población, para lo cual y con el fin de conservar el emisor existente, se hizo una revisión hidráulica y se comprobó la capacidad suficiente para desalojar las aguas negras de la ciudad, a través de los siguientes sistemas (Figura 2.5):

1. Colector Principal
 - a) Colector Colonia Guayulera
 - b) Colector Morelos
 - c) Colector Durango
 - d) Colector Guanajuato
 - e) Colector La Salle
2. Colector Oriente
3. Colector Poniente

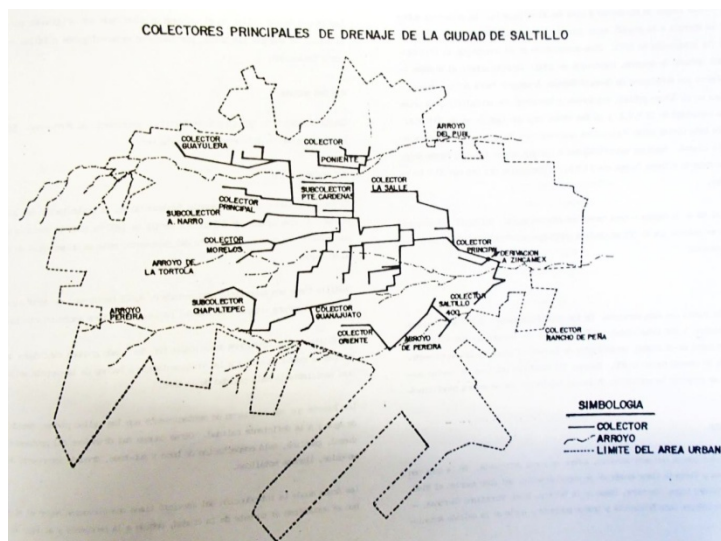


Figura 2.5. Principales colectores de drenaje de la ciudad de Saltillo en 1984.

El *Sistema Colector Principal* iniciaba en la parte sur de la avenida Emilio Carranza en su cruce con la calle de San Lorenzo, continuaba por la calle de Salazar hasta la calle de Ramos Arizpe donde recibe la aportación del colector de la colonia Guayulera; voltea por Purcell y continúa por Pérez Treviño, Xicoténcatl hasta Presidente Cárdenas, recibiendo antes, en el cruce con la calle Ramón Corona, la aportación del colector del sistema Morelos. En el cruce con Presidente Cárdenas deriva las aportaciones pluviales al cauce del arroyo de la Estación y entrega las aguas negras al colector antes construido que corre desde Presidente Cárdenas por la calle Monclova hasta la calle Durango donde dobla por esta última, recibiendo la aportación del colector del sistema Durango y continúa por el Blvd. Venustiano Carranza y voltea a la derecha pasando entre los edificios del Ateneo Fuente y los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Leyes para llegar al cruce de la calle Sinaloa y Jalisco donde reside la aportación del colector del sistema Guanajuato; sigue por le calle Sinaloa hasta recibir

al colector de la Salle y continúa hasta su entronque con el emisor. Este colector principal se auxiliaba con el colector Antonio H.

El *Sistema Colector Colonia Guayulera*, recogía las descargas de las colonias Guayulera y Chamizal, se inicia paralelo a la vía del ferrocarril Coahuila-Zacatecas, a partir de la calle Antonio Rosales y continúa hasta la prolongación de la calle Ramos Arizpe, entronca con el colector principal en el cruce con la calle Salazar y se auxilia con los subcolectores Leandro Valle y Pedro Ampudia, así como con la atarjea colateral Porfirio Díaz.

Por su lado, el *Sistema Colector Morelos*, es considerado de gran importancia, ya que con sus subcolectores Hidalgo, Reforma, Carranza y A. Puente, interceptaban gran parte de la red antes construida, integrándola al sistema general. Se inicia en el extremo de la calle Morelos en su cruce con San Lorenzo, continuando por la primera hacia el norte, mas adelante cambia a la calle de Allende, hasta la calle de Ramón Corona en la que dobla al poniente para llegar a la calle Xicoténcatl, donde entronca con el Colector Principal.

En el caso del *Sistema Colector Durango*, éste fue construido anteriormente. Inicia en Múzquiz y Dr. Lucio Blanco, auxiliándose con los subcolectores Cárdenas y el llamado F.F.C.C. En el cruce de las calles Hidalgo y Ferrocarril deriva las aguas pluviales al cruce Piedras Negras, hasta la calle Durango donde dobla hacia el poniente hasta interconectarse al Colector Principal en el cruce de las calles Durango y Blvd. Venustiano Carranza.

El *Sistema Colector Guanajuato* se proyectó para resolver el problema de alcantarillado de las colonias situadas en el extremo sur-este de la población y de la zona con red construida anteriormente en Presidente Cárdenas y Carretera Antigua a Arteaga. Este colector se origina en la calle 16 de septiembre en su cruce con la calle 18 de octubre, posteriormente se prolongó sobre esta última calle hacia el sur para recibir las aportaciones del fraccionamiento La Madrid, continuando por las calles Urdiñola, La Fragua, Andrés Saucedo, Armillita y Durango donde dobla hacia el norte, sobre la prolongación de la calle Hidalgo hasta llegar a la calle Jalisco doblándose al poniente, derivándose ante sus aguas pluviales el arroyo de La Tórtola donde se interconecta con el Colector Principal. Se auxilia con el subcolector Matamoros.

El *Sistema Colector La Salle* se proyectó con el fin de proporcionar servicios fundamentalmente a las colonias existentes al poniente del Boulevard Venustiano Carranza y parte de la zona industrial en desarrollo, en lo que a aguas negras se refiere. Inicia casi enfrente de la fábrica CINSA recorriendo el Blvd. Isidro Lopez Zertuche hasta llegar al Colegio La Paz, sigue por la calle La Salle; y al oriente llega al Blvd. Venustiano Carranza; dobla hacia el norte para inmediatamente volver al oriente hasta encontrar con el emisor antes construido.

Colector Oriente: Se proyectó y construyó para dar servicio a la colonia Provivienda ubicada al oriente de la ciudad. Nace en la calle 30 de septiembre de esta colonia, en su cruce con la calle 21 de Marzo, corre por la primera calle mencionada hacia el norte hasta llegar a la carretera 57, doblando al noreste hasta el sitio de vertido libre sobre el arroyo, aproximadamente a 1,885 metros, a partir de la carretera 57. En el trayecto se consideró la posibilidad de poder dar servicio a algunos fraccionamientos que pudieran construirse en esta zona.

Colector Poniente: Debido a que varias colonias ubicadas al poniente del Arroyo del Pueblo, que corre de sur a norte, a partir de la prolongación de la calle Ramos Arizpe, en cierto modo separados de la población sin posibilidades de poder integrar su sistema de alcantarillado al general de la ciudad, se consideró la necesidad de proyectar un colector independiente por la calle de Pedro Ampudia, con entradas a un pequeño emisor construido antes, el que descarga en una barranca que no causa problemas sanitarios.

Las zonas de vertido en aquel entonces (1985) se encontraban al norte de la ciudad, principalmente. Como se ha visto, el sistema principal era básicamente importante, ya que desalojaba sus aguas negras y del emisor de tubo de concreto reforzado de 76 centímetros de diámetro y 1,200 metros de longitud a partir de un entronque con el Colector Principal con una capacidad de transporte de 1,250 litros por segundo, considerando un incremento o extra de aguas pluviales, debido a las lluvias y que parte ingresan al alcantarillado a través de bajas en las casas, desagües de patios y aun a los mismos pozos de visitas.

En síntesis, en 1985, la ciudad de Saltillo contaba con alrededor de 47,000 contratos de drenaje, que cubrían el 72% de las viviendas de Saltillo. El déficit se encontraba principalmente al suroeste de la ciudad, al poniente en las colonias alrededor de Valle Escondido y al oriente en los asentamientos de Universidad-Pueblo, Las Palmas y Rubén Jaramillo. En el sureste de la ciudad se encontraban también las colonias Lomas de Lourdes, Girasol y Vista Hermosa sin contar con este servicio.

Se considera que el volumen de desagüe en Saltillo, en 1985, era de 750 litros por segundo, de los cuales el 57% era de aguas negras, en una red de alcantarillado de poco más de 300,000 metros de longitud. Sin embargo no todo el volumen viajaba por el emisor, dado que algunos colectores arrojaban sus aguas negras en arroyos.

En la Tabla 2.4 se presenta un resumen de las descargas promedio de aguas residuales domésticas que los diferentes colectores de Saltillo conducían en 1962 y 1985.

Tabla 2.4. Descargas de aguas residuales domésticas en los diferentes colectores de la ciudad de Saltillo en 1985

Nombre del colector	Caudal aproximado (Lps)	
	1962	1985
Principal	448	562
Guayulera	2	57
Poniente	21	27
Valle de las Flores	20	26
Oriente	17	22
Francisco I. Madero	6	8
Saltillo 400	4	5
La Fragua	4	5
Oceanía	3	4
Rancho de Peña	2	3
Otros	13	17
TOTAL	580	756

2.3.1.2. Situación actual de la red de drenaje sanitario de Saltillo

El sistema de drenaje de Saltillo se ha ido ampliando de acuerdo al crecimiento de la ciudad, contando en la actualidad de unos 1,800 kilómetros de tubería, con diámetros que van desde 10 hasta 60 pulgadas y da servicio a más de 180,000 hogares. Existe, además, un sistema de colectores independientes que cuentan con descargas propias y dan servicio a colonias y fraccionamientos localizados al norte de la ciudad.

El plano más reciente de la red de drenaje sanitario de Saltillo fue realizado por la empresa DEMM Consultores, como parte del estudio “Actualización del Plan Maestro para el Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Ciudad de Saltillo, Coahuila” (Figura 2.6). En la figura, los colectores están marcados en negro y la zona marcada por los óvalos rojos indica los tramos en donde los colectores presentan deficiencias.

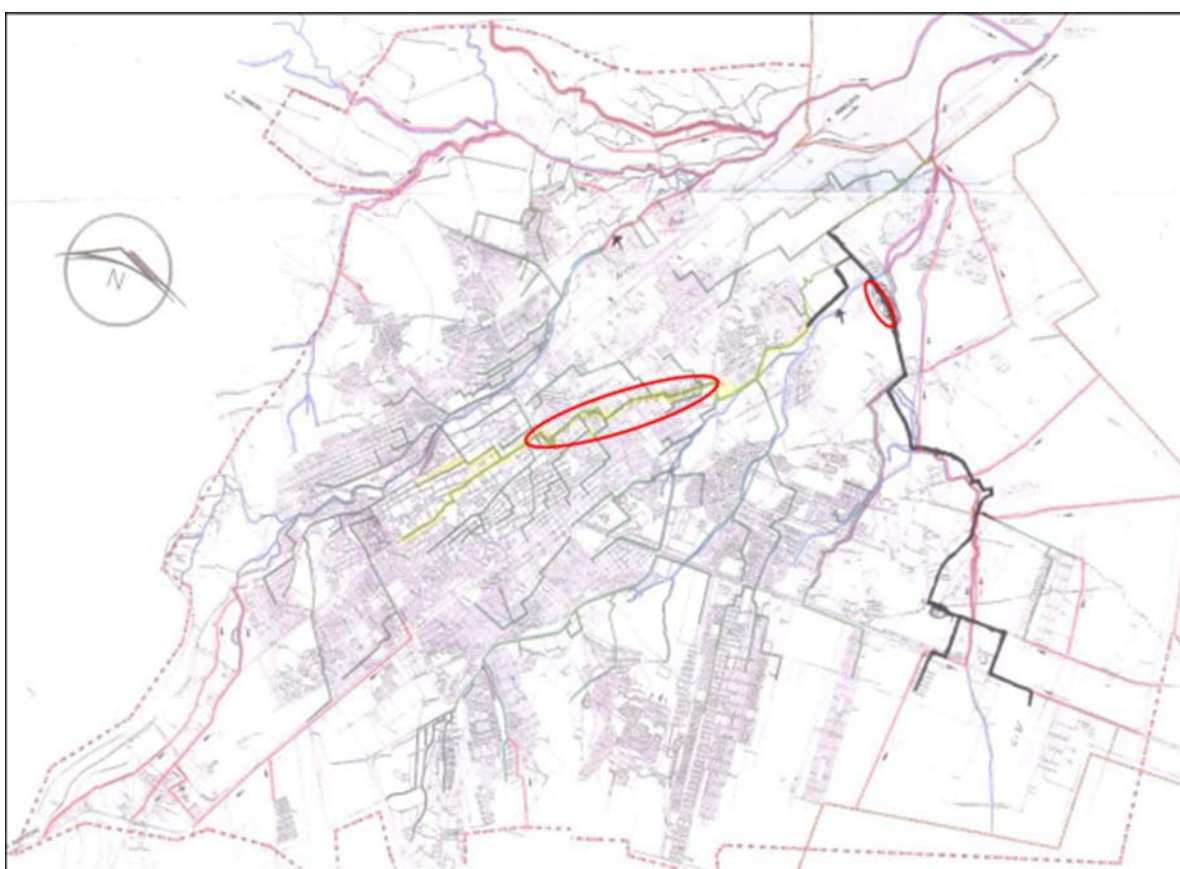


Figura 2.6. Plano de la red de drenaje sanitario de la Ciudad de Saltillo, Coahuila, 1995

Debido a las pendientes que presenta la ciudad (desnivel de 400 metros entre el punto más alto y el más bajo), la mayoría de las líneas de conducción primarias y secundarias operan por gravedad y no requieren estaciones de bombeo.

Datos del Plan Director de Desarrollo Urbano de Saltillo, indican que a principios de este siglo sólo el 50 % de la mancha urbana contaba con red de drenaje funcionando en condiciones favorables; mientras que la mayoría de las colonias del segundo cuadro de la ciudad y de la periferia tenían problemas.

En los años 2007-2008, junto con la construcción de las plantas tratadoras de aguas residuales de Saltillo, se introdujeron cuatro emisores para conducir las aguas residuales de la ciudad a la Planta Tratadora Principal. El diseño de los mismos se hizo sobre la base de los gastos aforados y proyectados que se presentan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Gastos medios de los emisores construidos en 2007-2008

Emisor	Gasto mínimo (Lps)	Gasto medio aforado (Lps)	Gasto máximo (Lps)	Gasto medio del proyecto (Lps)
Del Pueblo	184.80	197.39	209.10	228.56
Satélite	4.62	12.23	19.74	14.16
Cerritos	55.74	67.10	76.75	77.70
Principal	694.71	759.64	821.75	879.59
Suma	939.87	1,036.36	1,065.43	1,200.00

2.3.1.3. Descarga de aguas residuales a cielo abierto

Antes de la puesta en marcha de las plantas tratadoras municipales, las descargas de los colectores de aguas residuales de Saltillo se hacían a cielo abierto en el norte de la ciudad. En la década de los sesentas del siglo pasado, debido a la urbanización creciente en ese sector, se empezaron a desviar las aguas negras al arroyo del Pueblo y otros, lo que dio lugar a la contaminación de éstos. Después de la construcción de las PTAR de Saltillo, todavía se sigue descargando a los arroyos un flujo importante de aguas sanitarias e industriales de desecho sin tratamiento previo, como se muestra en las fotos de la Figura 2.7.



Figura 2.7. a) Descarga de aguas residuales industriales con colorante azul en el arroyo del Pueblo (cortesía del Ing. Fausto Destenave Mejía), b) Descarga de aguas residuales aceitosas en el arroyo Cárdenas

2.3.2. Ramos Arizpe

2.3.2.1. Historia de la Red de Drenaje Sanitario de Ramos Arizpe

De acuerdo con el Sr. Manuel Gil Vara, cronista de Ramos Arizpe, antes de la construcción de la red de alcantarillado, las viviendas de Ramos Arizpe desalojaban sus aguas residuales en fosas sépticas o a los arroyos cercanos. Comenta además que las primeras redes domiciliarias de agua y alcantarillado de Ramos se instalaron durante la Presidencia Municipal del Sr. José María Farías (1943-1945),

mediante una donación que se recibió de la fundación Rockefeller, gestionada a través del Club de Damas Orquídea.

2.3.2.2. Situación de la red de drenaje sanitario de Ramos Arizpe en 2005 y 2010

Según la Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Ramos Arizpe, Coahuila:

“...en Ramos Arizpe solo 2,995 viviendas tienen servicio sanitario y corresponden al 86.08 % de cobertura. La descarga del drenaje se realiza al arroyo del Pueblo (o La Encantada)...”

La Tabla 2.6 presenta las coberturas de agua potable y alcantarillado (en porcentaje) en la zona urbana de Ramos Arizpe, para los años 1990, 2000 y 2010.

Tabla 2.6. Coberturas de agua potable y alcantarillado (%) en la zona urbana de Ramos Arizpe

Coberturas reportadas / Año	1990	2000	2010
Agua potable	93.5	91.9	97.4
Alcantarillado	86.1	94.5	97.6

En la Figura 2.8 se presenta el Plano General del sistema de drenaje sanitario de Ramos Arizpe el cual funciona por gravedad. Las principales zonas carentes de drenaje son colonias populares de reciente creación. Las colonias: que presentaban en 2005 una cobertura menor del 75% en el servicio eran: El Mirador, Peña Alta, Fidel Velásquez, Del Valle Sector, Del Valle Sector II, Del Valle Sector III y Fraccionamiento Villas del Nogalar.

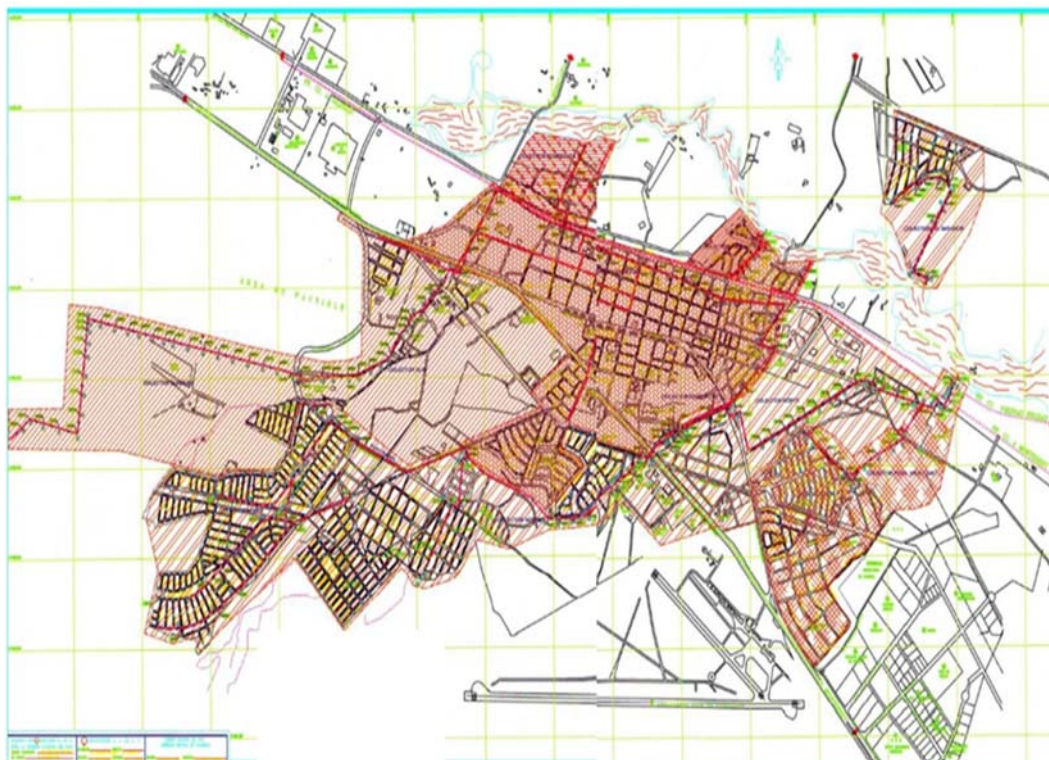


Figura 2.8. Plano General de Alcantarillado Sanitario de Ramos Arizpe en 2005

2.3.2.3. Descarga de aguas residuales a cielo abierto

Antes de la puesta en marcha de la planta tratadora municipal de Ramos Arizpe (en 2006-20077), las descargas de los colectores de aguas residuales de esa ciudad también hacían a cielo abierto, principalmente al arroyo La Encantada, cuyas aguas se han utilizado durante muchos años para riego agrícola en las zonas centro y norte del municipio de Ramos.

Una situación muy irregular relacionada con el sistema de drenaje sanitario, que se presentó durante muchos años en la zona urbana de Ramos Arizpe, y que aparentemente ya se corrigió, fue la relacionada con el cárcamo C-4, localizado en el Parque Industrial PYDECO (Figura 2.9).



Figura 2.9. a) Localización del registro C-4 en el Parque Industrial PYDECO, b) pipa descargando aguas residuales en el registro C-4.

Este cárcamo se usó durante muchos años para hacer la descarga indirecta de aguas residuales de varias industrias y fraccionamientos de Saltillo y Ramos Arizpe, al arroyo La Encantada, en forma no controlada. Al cárcamo llegaban varias camiones-cisterna al día, las cuales vaciaban su contenido al interior del mismo, sin ninguna supervisión de parte de las autoridades. Sólo se pedía a los piperos que registraran el volumen y la proveniencia de las descargas en una bitácora que se encontraba en las oficinas de SAPARA en el centro de Ramos Arizpe.

2.3.3. Arteaga

2.3.3.1. Historia de la Red de Drenaje Sanitario

No existe mucha información histórica del alcantarillado, pero se sabe que las primeras redes de agua y alcantarillado se construyeron en la época en que Román Cepeda (oriundo de Arteaga) fue Gobernador de Coahuila (1951-1957). Posteriormente se han ido agregando tramos, de acuerdo al crecimiento de la ciudad.

2.3.3.2. Situación de la red de drenaje sanitario de Arteaga en 2005 y 2010

La Tabla 2.7 presenta información sobre los cuatro colectores de aguas negras existentes en la zona urbana del municipio de Arteaga en el año 2000.

Tabla 2.7. Colectores de aguas residuales en Arteaga, Coahuila al año 2000

No.	Colector	Descarga	Características
1	Alameda	Cerca a la gasolinera en la carretera a México	Es la descarga de mayor gasto. Incluye el efluente de la fábrica de quesos. Se planea conectarla a la descarga 2.
2	15 de mayo - Descarga No. 1	Colonia La Joya, en la continuación de la calle Alameda	
3	15 de mayo - Descarga No. 2	Colonia Ejidal	Descarga del subcolector sanitario marginal del Arroyo Seco
4	Los Alcatraces	Abajo de la calle de Hidalgo	

Hay un parteaguas en la calle de Hidalgo. Dos de las descargas se vierten hacia el noroeste y dos hacia el sureste, como se indica en la Figura 2.10.



Figura 2.10. Parteaguas en la calle Hidalgo en el centro de Arteaga, que define el rumbo de las descargas de aguas residuales de la zona urbana

En 2002, la compañía Servicios de Ingeniería e Informática, S.C. realizó 383 aforos, y obtuvo los gastos promedio que se presentan en la Tabla 2.8.

Tabla. 2.8. Gastos promedio de los cuatro colectores de la zona urbana de Arteaga

No.	Colector	Gasto promedio (Lps)	Gasto mínimo (Lps)	Gasto máximo (Lps)
1	Alameda	2.55	1.10	5.05
2	15 de mayo - Descarga No. 1	0.95	0.45	1.47
3	15 de mayo - Descarga No. 2	0.16	0.48	2.26
4	Los Alcatraces	0.98	0.42	2.23
	Totale	5.64	2.45	11.01

La información proporcionada por el Ing. Jesús Sánchez Valdovinos, Gerente de SIMAS Arteaga, durante una visita que cuatro de los integrantes del grupo a cargo de este proyecto realizó a las oficinas del organismo operador de ese municipio difiere un poco de los datos de la tabla anterior en relación a los colectores:

SIMAS-Arteaga tiene alrededor de 2,600 tomas, de las que se abastecen alrededor de 11,000 personas.

Las aguas residuales de Arteaga (de tipo doméstico, en su totalidad, ya que en la población no existen industrias en operación) se vierten a diferentes colectores, como se indica a continuación:

- a) el Canoas al lado poniente de la ciudad, que colecta las aguas residuales de alrededor del 70% de la población urbana, lleva un caudal máximo de 10 Lps (de 10:00 a.m. a 2:00 p.m.), y corre desde el Lienzo Charro hasta la Colonia Canoas, en donde descarga al arroyo del mismo nombre.
- b) El Alameda, al lado noreste de Arteaga, cuyo caudal es muy inferior al de Canoas (menos de 5 Lps). La constructora de Jesús Vigil utiliza parte de esta descarga para compactación de terrenos y otros usos propios de su giro.
- c) Existe otra descarga por la calle de Hidalgo (entrando por la gasolinera en la carretera a México), que se planea conectar al colector Alameda.
- d) Las aguas residuales de la colonia Bella Unión, en donde habitan alrededor de 200 familias, descargan a un arroyo, detrás del tanque El Capricho. Alrededor de 50 familias de este poblado no tienen conexión al drenaje.
- e) Existen varios fraccionamientos de reciente creación, que no están conectados a ningún colector. La mayor parte de ellos se están construyendo en zonas donde antes existían huertos de nogales (p.ej. en la curva del 12, que pertenecía a Abraham Cepeda Izaguirre).

La producción total de aguas residuales de la zona urbana de Arteaga es de menos de 15 Lps.

La relación entre el flujo de aguas residuales y de agua potable distribuida es mucho menor que en muchas otras ciudades. Esto se debe a dos razones principales: a) parte del agua potable se usa para riego de huertas, y b) no toda el agua residual llega a los colectores de la ciudad, ya que se usa en parte para riego de huertas.

Según la Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Arteaga, Coahuila (CEUA, 2005):

“...El sistema de drenaje sanitario trabaja por gravedad, y su descarga se realiza a varios arroyos. En 2000 existían 575 descargas de drenaje domésticas, 15 comerciales y 2 industriales...”

La Tabla 2.9 presenta las coberturas de agua potable y alcantarillado (en porcentaje) en la zona urbana de Arteaga, reportadas por el INEGI.

Tabla 2.9. Cobertura de agua potable y alcantarillado (%) en la zona urbana de Arteaga

Coberturas reportadas / Año	2000	2010
Agua potable	94.0	93.3
Alcantarillado	91.5	95.5

La Figura 2.11 presentan dos planos de colonias del municipio de Arteaga: uno del centro y otro del suroeste. Las colonias populares que en 2005 tenían una cobertura de drenaje sanitario menor al 75 por ciento eran: Ayuntamiento, Baja California, Bella Unión, Cumbres de Loma Azul, Ejidal, El Pedregal, Loma Azul, Partición, San Francisco y San Isidro.

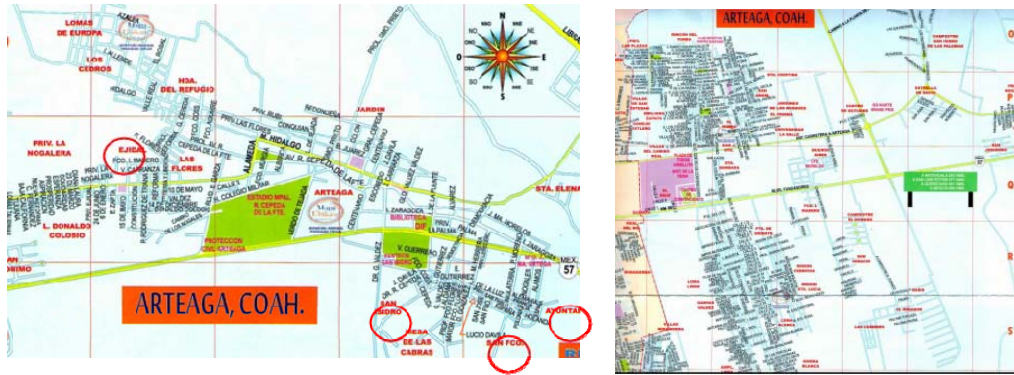


Figura 2.11. Colonias del centro y suroeste de la zona urbana de Arteaga

En la actualidad el municipio de Arteaga no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, ni con alcantarillado pluvial.

2.3.3.3. Descarga de aguas residuales a cielo abierto

Las aguas negras de Arteaga se descargan a cielo abierto en diferentes arroyos localizados cerca a la zona urbana, como se observa en la foto de la Figura 2.12.

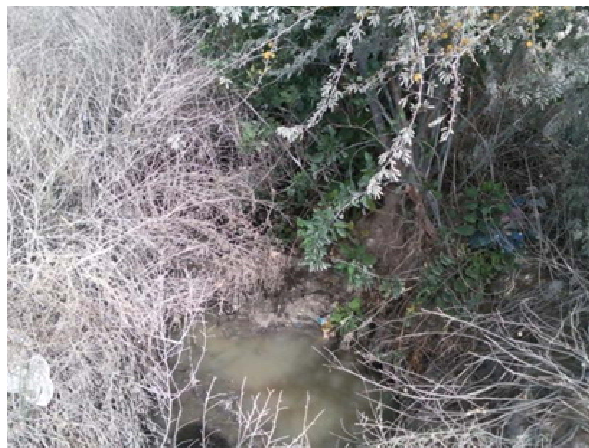


Foto 2.12. Descarga de aguas residuales del colector Alameda al noroeste de la zona urbana de Arteaga

La interconexión de las aguas residuales de la cabecera municipal de Arteaga, con un colector localizado al oriente de Saltillo, permitiría conducir las aguas residuales del primer municipio a la Planta Tratadora Principal del segundo.

2.4. Coberturas de alcantarillado de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga en comparación con la de otras ciudades de Coahuila

Las Figura 2.13 y 2.14, obtenidas de los “Informes de la situación del agua en Coahuila” a los años 2004 y 2008, presentan los porcentajes de cobertura de alcantarillado en varias ciudades de Coahuila, que incluyen Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

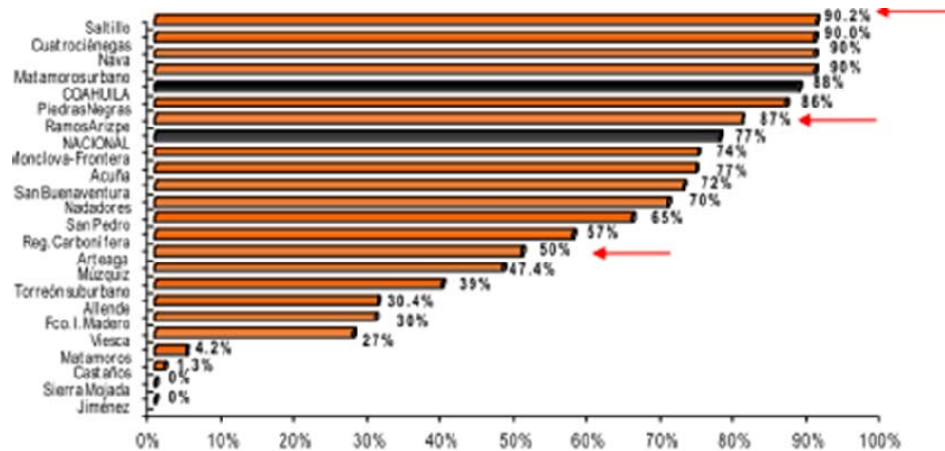


Figura 2.13. Cobertura de alcantarillado en Coahuila en 2004, en base al total de viviendas habitadas

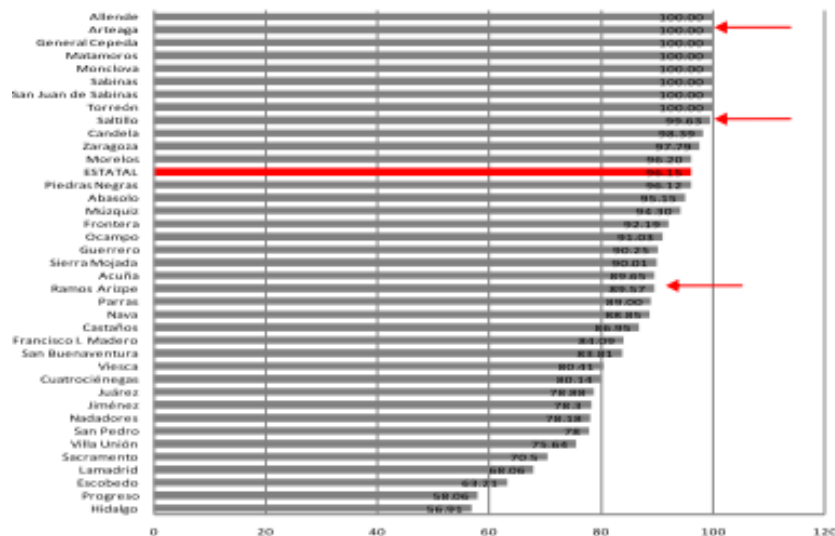


Figura 2.14. Cobertura de alcantarillado en Coahuila en 2008

Entre las líneas de acción de CEAS en 2004 se contemplaba “Rehabilitar la infraestructura con niveles sensibles de deterioro y ampliar la cobertura para atender las necesidades por incremento demográfico y los rezagos, en especial en las localidades rurales de...” varias ciudades, que comprendían Arteaga y Ramos Arizpe.

En el Informe del año 2008 aparecen los párrafos siguientes relacionados con los sistemas estatales de alcantarillado:

“...A pesar de los avances registrados en los últimos años, aún persiste un rezago importante en materia de alcantarillado, ya que en promedio se tiene una cobertura del 96.15 % en el Estado, con un rezago de más de 25,000 viviendas que carecen de este servicio.”

“La inversión debe enfocarse a los municipios con mayor porcentaje de rezago, a través de una eficiente mezcla de recursos y promover la participación social para avanzar a mayores niveles en

disponer de redes públicas y conectar las descargas domiciliarias para la recolección y disposición de estas aguas...” (Entre los municipios que se mencionan aparece Ramos Arizpe, pero no Arteaga)

“Es prioritario también la rehabilitación de infraestructura con niveles altos de deterioro”

2.5. Conclusiones

En la zona sureste de Coahuila, la primera red de alcantarillado que se construyó fue la de la ciudad de Saltillo, que data de principios del siglo pasado. Las redes de alcantarillado de Ramos Arizpe y Arteaga son mucho más recientes (datan de mediados del mismo siglo). En diferentes ocasiones se han agregado tramos que han permitido recibir las descargas de las colonias nuevas.

Actualmente, la cobertura de alcantarillado de las zonas urbanas de los tres municipios no es completa, lo que ocasiona que se sigan descargando aguas residuales domésticas e industriales sin tratar a cielo abierto, se siga contaminando el subsuelo y se continúe el riego agrícola en condiciones insalubres.

Otro punto relevante es que en los informes de gobierno de los Presidentes Municipales para el periodo 2010-2013 sólo reportan actividades de destapa y sondeo del drenaje sanitario, pero ninguna relacionada con reparación de las redes de alcantarillado, las cuales deben tener actualmente un buen número de fugas al subsuelo. Después de lluvias fuertes son también notorias las descargas de drenaje sanitario en algunas calles de las tres ciudades, situación que los habitantes de las mismas han denunciado por los problemas de salud a los que podrían estar expuestos.

Otro punto relevante relacionado con las ciudades que tienen en operación plantas tratadoras de aguas residuales (Saltillo y Ramos Arizpe), son los flujos bajos -del orden de 50-60% en los dos casos- que se están tratando en relación con los aforos que se realizaron durante la etapa de diseño. Hace falta una revisión a fondo de los sistemas de alcantarillado de Saltillo y Ramos con el fin de encontrar las razones de esta situación.

Finalmente, el municipio de Arteaga no tiene todavía planes en firme para la construcción de una PTAR municipales, situación que se debe subsanar a la brevedad posible, ya que -de acuerdo a la norma NOM-00 1-SEMARNAT-1996, las ciudades con poblaciones comprendidas entre 10,000 y 50,000 habitantes tenían hasta el 1 de enero del año 2005 para construir su planta tratadora.

3. Tratamiento de aguas residuales municipales en las Plantas tratadoras de Saltillo y Ramos Arizpe

3.1. Introducción

La norma NOM-001-SEMARNAT-1996 estipula que las descargas de aguas residuales municipales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con una serie de parámetros, establecidos en la misma. La observancia de dicha norma se debió dar de acuerdo con las fechas siguientes:

- 1 de enero de 2000 para los municipios con más de 50,00 habitantes
- 1 de enero de 2005 para los municipios con 20,000 a 50,000 habitantes
- 1 de enero de 2010 para los municipios con 2,501 a 20,000 habitantes

El cumplimiento de los “Límites máximos permisibles para contaminantes básicos” implica construir plantas tratadoras de aguas residuales municipales (PTARM). Saltillo pertenece a la primera categoría de ciudades, Ramos Arizpe a la segunda y Arteaga a la tercera. Por lo tanto, la construcción de las plantas tratadoras de Saltillo y Ramos Arizpe debió darse antes de 2000 y 2005, mientras que la de Arteaga antes de 2010. Tuvieron que pasar unos años para que se concretara la construcción y puesta en marcha de las plantas tratadoras en los dos primeros municipios (2006-2008), mientras que para Arteaga, cuyo plazo ya venció, no tiene aún un proyecto concreto para construir su planta tratadora.

Las PTARM de Saltillo (Principal y del Gran Bosque Urbano) fue construida por IDEAL Saneamiento de Saltillo (empresa del grupo CARSO), cuyos objetivos principales fueron: a) el tratamiento de las aguas residuales generadas en la ciudad, para el saneamiento del cauce del arroyo La Encantada; y b) el reúso de las aguas residuales tratadas para riego de áreas verdes, riego agrícola y aplicaciones industriales.

Por otro lado, la empresa ISSASA, de Monterrey, construyó la PTARM de Ramos Arizpe. El objetivo principal de esta planta fue tratar las aguas residuales generadas en esta ciudad, para sanear el arroyo La Encantada y propiciar el reúso industrial.

La empresa IDEAL Saneamiento de Saltillo está a cargo de la operación y mantenimiento de las dos plantas de Saltillo, por un período de 17.5 años partir de 2008; y la empresa Domos-Aqua de la PTARM de Ramos Arizpe por un período de 25 años a partir de febrero 2008.

En este capítulo, se presenta información general sobre las PTARM Principal y del Gran Bosque Urbano, en Saltillo y de la de Ramos Arizpe. Se analizan, también, los datos históricos de la calidad de agua (influyente y efluente) y los flujos tratados.

3.2. Planta Tratadora Principal 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 (Figuras 3.1 y 3.2). 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, sin embargo, parte de las aguas residuales domésticas e industriales generadas se siguen descargando directamente al arroyo La Encantada, sin tratamiento alguno.



Figura 3.1. PTAR-Principal, al fondo la planta de DeAcero, cliente potencial para el agua residual tratada



Figura 3.2. Silo de cal a la izquierda de las instalaciones para manejo de lodos en la PTARM-Principal

La PTARM-Principal es administrada por IDEAL Saneamiento de Saltillo (ISASAL), entidad creada en el año 2007, cuando la empresa mexicana IDEAL ganó el concurso de licitación para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las dos plantas tratadoras propuestas para la ciudad de Saltillo: la Principal y la del Gran Bosque Urbano.

El contrato firmado entre el Municipio de Saltillo e ISASAL estipula que ISASAL se encargará del la operación y mantenimiento de las dos plantas tratadoras por un periodo de 18 años, mientras que el Municipio es el dueño del proyecto.

El reúso y la venta del agua tratada en la PTARM-Principal no son parte de las responsabilidades de ISASAL, ya que el contrato original no lo menciona.

El proceso de depuración de aguas residuales en la PTARM-Principal está formado por: un sistema de pretratamiento (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 digester, un filtro banda y adición de cal para los lodos de desecho (Figura 3.3). 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.

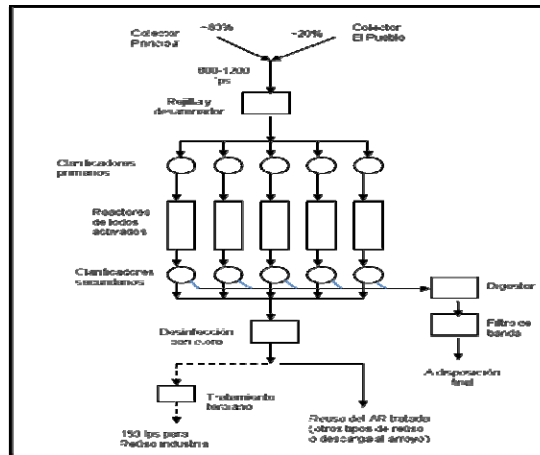


Figura 3.3. Principales componentes de la PTAR-Principal

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.

3.2.1. Parámetros de Diseño

De acuerdo al contrato firmado entre el Municipio de Saltillo e ISASAL, la calidad de las Aguas Residuales de entrada a la PTARM-Principal debe cubrir una serie de parámetros, los cuales se indican en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Calidad que debe cubrir el influente de las ARM en la PTARM-Principal

Parámetro	Valor promedio	Parámetro	Valor promedio
Temperatura (°C)	20	Fósforo Inorgánico (mg L ⁻¹)	8
pH	7	Arsénico* (mg L ⁻¹)	0.03
Grasas y Aceites (mg L ⁻¹)	125	Cadmio* (mg L ⁻¹)	0.03
Sólidos Sedimentables (mg L ⁻¹)	5	Cianuros* (mg L ⁻¹)	0.01
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	370	Cobre* (mg L ⁻¹)	0.10
DBO ₅ Total (mg L ⁻¹)	340	Cromo* (mg L ⁻¹)	0.10
DBO ₅ Soluble (mg L ⁻¹)	160	Mercurio* (mg L ⁻¹)	0.001
DQO Total (mg L ⁻¹)	730	Níquel* (mg L ⁻¹)	0.10
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	65	Plomo* (mg L ⁻¹)	0.20
Nitrógeno Amoniacal (mg L ⁻¹)	30	Zinc* (mg L ⁻¹)	0.40
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg L ⁻¹)	60	Coliformes Fecales (NMP 100mL ⁻¹)	1.7 x 10 ⁸
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	10	Huevos de Helminto (HH L ⁻¹)	4

* Medidos como totales

De igual manera, en el contrato estipula límites máximos en los parámetros de calidad del agua tratada, tal como se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Calidad que del efluente para descarga de las ARM tratadas en la PTARM-Principal

Parámetro	Promedio mensual	Promedio diario	Concentración garantizada
Grasas y Aceites (mg L ⁻¹)	15	25	--
Materia flotante	Ausente	Ausente	--
Sólidos Sedimentables (mg L ⁻¹)	1.0	1.0	
Sólidos Suspendedos Totales (mg L ⁻¹)	150	200	40
DBO ₅ Total (mg L ⁻¹)	150	200	44
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	40	60	--
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	20	30	--
Arsénico* (mg L ⁻¹)	0.2	0.4	--
Cadmio* (mg L ⁻¹)	0.2	0.4	--
Cianuros* (mg L ⁻¹)	2.0	3.0	--
Cobre* (mg L ⁻¹)	4.0	6.0	--
Cromo* (mg L ⁻¹)	1	1.5	--
Mercurio* (mg L ⁻¹)	0.01	0.02	--
Níquel* (mg L ⁻¹)	2.0	4.0	--
Plomo* (mg L ⁻¹)	0.5	1.0	--
Zinc* (mg L ⁻¹)	10	20	--
Coliformes Fecales (NMP 100mL ⁻¹)	< 1,000	< 2,000	--
Huevos de Helminto (HH L ⁻¹)	<5	<5	--

* Medidos como totales

Cabe remarcar que de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, los valores máximos permisibles establecidos SST y DBO₅ son de 150 y 200 mg L⁻¹ como promedio mensual y diario, respectivamente. Así, para poder cumplir con el valor de menos de 1,000 NMP 100mL⁻¹ en coliformes fecales en el agua tratada, la empresa consideró en su proyecto la necesidad de garantizar un valor de menos de 40 mg L⁻¹ de SST y 44 mg L⁻¹ de DBO₅ en el agua tratada antes de su desinfección.

En las instalaciones de la PTARM-Principal existe un laboratorio propio que realiza las determinaciones de los parámetros para los influentes y efluentes, excepto los metales. Para el efluente, también se determina el contenido de cloro residual libre y el caudal. Adicionalmente, cada semana se toman muestras de la alimentación y el efluente secundario, las cuales son analizadas por el Laboratorio Análisis Químico Industrial de Saltillo, donde se determinan DBO₅, DQO y SST.

Por otra parte, se realizan mensualmente análisis completos del efluente secundario por el laboratorio certificado Proyectos y Estudios sobre Contaminación Industrial, de Monterrey.

3.2.2. Flujos de entrada y salida

La PTARM-Principal se diseñó para tratar un caudal de 1,200 Lps, que corresponde con el promedio de agua alimentada a la red municipal, de acuerdo con el organismo operador de agua y por otros usuarios de la red de drenaje. Sin embargo, de un estudio de los flujos de entrada a la Planta desde su creación hasta febrero de 2013 indican que se tiene en promedio el caudal de entrada de 677 Lps, lo que representa sólo el 56% de su capacidad. Este valor indica una baja eficiencia en la recolección de las aguas residuales y/o una red de drenaje incompleta.

El valor de entrada comparado con un estimado de 1,200 Lps alimentados a la red por el organismo operador y por otros usuarios de la red de drenaje, y descontando 120 Lps de agua extraída de la red de drenajes para tratamiento en otras plantas es bajo, e indica una baja eficiencia de captación de aguas residuales y/o una red de drenaje deficiente.

A partir del mes de diciembre de 2009, del caudal de salida de la PTAR Principal Saltillo se están enviando por bombeo a la empresa DeAcero 14 Lps en promedio, para reutilizarse en el proceso industrial de esta empresa, ubicada aproximadamente a 300 metros de la PTAR. El resto del caudal de salida es descargado al arroyo La Encantada del municipio de Ramos Arizpe y es utilizado aguas abajo en labores agrícolas.

3.2.3. Remoción de los contaminantes principales

La calidad del agua tratada en la Planta Principal de Saltillo (Tabla 3.3) cumple con los requerimientos de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 para ríos que se utilizan para riego agrícola. Sin embargo, ocasionalmente ha sobrepasado los límites (en DBO₅, SST y coliformes fecales) de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Tabla 3.3. Calidad del efluente secundario de la PTARM-Principal y su cumplimiento con las normas NOM-001 y NOM-003

Parámetro	Límites de la norma NOM-001		Límites de la norma NOM-003		Periodo 2009-2012
	P.M.	P.D.	C.D.	C.I.	
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	150	200	20	30	8-56
SST (mg L ⁻¹)	150	200	20	30	6-35
DQO (mg L ⁻¹)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	43-287
pH (mg L ⁻¹)	5.0	10.3	N.A.	N.A.	7.4-8.0
Conductividad (µmhos cm ⁻¹)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1,245-2,693
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	1,000	2,000	240	1000	19-1150
Huevos de helminto (HH L ⁻¹)	≤ 1	≤ 5	≤ 1	≤ 5	0
Metales pesados*	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Arsénico (mg L ⁻¹)	0.2	0.4	0.2	0.4	<0.2
Cadmio (mg L ⁻¹)	0.5	0.1	0.5	0.1	<0.5
Cianuro (mg L ⁻¹)	2.0	3.0	2.0	3.0	<2.0
Cobre (mg L ⁻¹)	4	6.0	4	6.0	<4
Cromo (mg L ⁻¹)	0.5	1.0	0.5	1.0	<0.5
Mercurio (mg L ⁻¹)	0.005	0.01	0.005	0.01	<0.005
Níquel (mg L ⁻¹)	2	4	2	4	<2
Plomo (mg L ⁻¹)	5	10	5	10	<5
Zinc (mg L ⁻¹)	10	20	10	20	<10

* Medidos de manera total., P.D.=Promedio Diario, P.M.=Promedio Mensual
N.A.=No es aplicable, C.D.=Contacto directo, C.I.=Contacto indirecto u ocasional

Los flujos y calidad de alimentación a la planta tratadora Principal varían a lo largo del día. De acuerdo con información proporcionada por el encargado técnico de la Planta, en ocasiones se han tenido valores altos de DBO₅ y DQO en la alimentación (Figura 3.4), las que podrían deberse a contaminación por descargas de origen industrial, las cuales no están permitidas en la alimentación a la planta tratadora.

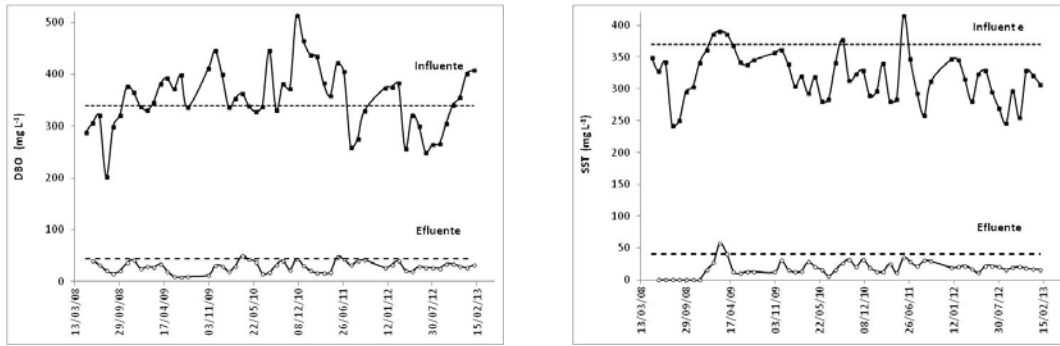


Figura 3.4. DBO y SST en el influente y efluente de la PTARM-Principal

La concentración de grasas y aceites en el agua de alimentación es superior en muchos casos a lo indicado en el contrato, por lo que este parámetro ha excedido en muchos casos el límite establecido para la descarga.

Tanto en la alimentación como en el efluente secundario, los sólidos disueltos totales, la conductividad, los sulfatos y la dureza ($350\text{--}400\text{ mg L}^{-1}$) son relativamente altos para fines de reúso industrial. Aquí es importante remarcar que el agua de pozo que usan las industrias de la zona, en algunos casos tiene valores más altos para estos parámetros (los cuales no son removidos por el tratamiento biológico).

Los valores promedio de los parámetros DBO y SST del agua residual de entrada a la PTARM-Principal corresponde a niveles típicos de aguas residuales domésticas ($\text{DBO}=353\text{ mg L}^{-1}$ y $\text{SST}=319\text{ mg L}^{-1}$) y ambos se encuentran dentro de las consideraciones de diseño de la planta, como se muestra en la Tabla 3.2. Aquí es importante señalar que estos valores están por encima de los valores estipulados en la NOM-002-ECOL-1996.

Los valores de DBO y SST en el efluente se encuentran por abajo de los valores considerados en el diseño ($\text{DBO}=10\text{ mg L}^{-1}$ y $\text{SST}=13\text{ mg L}^{-1}$) demostrando una remoción del 92 y 94 % para ambos parámetros (Figura 3.4). Además cumplen ampliamente la NOM-001-ECOL-1996, para el caso de descarga en ríos con uso de riego agrícola, situación con la que opera actualmente. Asimismo estos valores cumplen modalidades más estrictas como son la de descarga a embalses naturales y artificiales con protección de vida acuática, y la NOM-003-ECOL-1997.

Al respecto de la concentración de metales en el influente, se encontró que éstos fueron de diez a cien veces menores que los marcados en la NOM-002-ECOL-1996 y en muchos de los casos están por debajo de los límites de detección analítica actuales. Estas características concuerdan con el origen de las aguas residuales, que en más del 85 % son de origen doméstico y un 15% son aguas residuales que se generan en comercios/servicios e industria, que no tienen procesos relacionados con los metales pesados.

Por otro lado, los valores de conductividad en el influente de la PTARM-Principal muestran un promedio de $1,744\text{ }\mu\text{mhos cm}^{-1}$, con máximos superiores a los $2,000\text{ }\mu\text{mhos cm}^{-1}$ correspondientes a épocas de estiaje. Si se considera que la conductividad promedio de agua surtida a la red de agua

potable es de $800 \mu\text{mhos cm}^{-1}$, el incremento de la conductividad por efecto de la adición de sólidos disueltos y concentración por evaporación, está arriba de lo esperado.

Los valores de conductividad en el efluente son en promedio $1,853 \mu\text{mhos cm}^{-1}$. El incremento entre el valor del influente y efluente es explicado por la evaporación de agua y consecuente concentración de sólidos disueltos en el proceso de tratamiento. Esta calidad de agua puede ser utilizada en la industria para enfriamiento. No obstante, su eficiencia en este tipo de aplicación es baja e implica un alto costo de mantenimiento de los equipos, el cual debe ser compensado con un precio de adquisición bajo. Este problema puede ser eliminado mediante un tratamiento terciario (desalinización). Las aguas residuales con valores de conductividad como estos pueden ser apropiadas para el riego de áreas verdes y una gran variedad de cultivos.

3.3. Planta Tratadora del Gran Bosque Urbano

La Planta Tratadora de Aguas Residuales Municipales del Gran Bosque Urbano (PTARM-GBU) se localiza en el predio denominado como Manzana 5 del Nuevo Centro Metropolitano de Saltillo y abarca una extensión de $7,664.35 \text{ m}^2$. Esta planta fue diseñada para tratar aguas domésticas del sur de la ciudad y tiene una capacidad de 70 lps.

Al igual que la PTARM-Principal, esta Planta también es operada por ISASAL y según el Contrato de “Prestación de Servicios del Saneamiento Integral de las Aguas Residuales del Municipio de Saltillo”, el reúso de las aguas residuales tratadas en la PTARM-GBU, es responsabilidad de ISASAL.

La PTARM-GBU está constituida por un sistema de pretratamiento (rejilla y desarenador), un clarificador primario, dos trenes de tratamiento biológico (sistema de lodos activados), que constan de un reactor y un clarificador secundario cada uno; un sistema 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 dos reactores se envían a la línea de alimentación (Figura 3.5). El efluente secundario clorado se descarga al arroyo Ceballos, que colinda con las instalaciones de la Planta Tratadora.

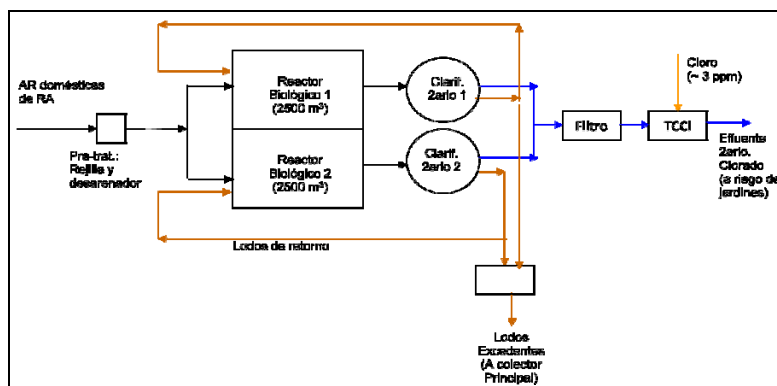


Figura 3.5. Diagrama esquemático de la PTARM-GBU de Saltillo

3.3.1. Parámetros de Diseño

De acuerdo al contrato entre ISASAL y el Municipio de Saltillo, el agua residual que recibe la Planta debe cumplir con los límites máximos establecidos en la Tabla 3.4. Mientras que los parámetros de calidad que debe cubrir el efluente son los mismos que para la PTARM-Principal (Tabla 3.2), con la única diferencia en los valores de concentración garantizada en SST y DBO₅ que es de 10.

Tabla 3.4. Calidad que debe cubrir del influente de las ARM en la PTARM-GBU

Parámetro	Valor promedio	Parámetro	Valor promedio
Temperatura (°C)	20	Fósforo Inorgánico (mg L ⁻¹)	10
pH	7.1	Arsénico* (mg L ⁻¹)	0.03
Grasas y Aceites (mg L ⁻¹)	125	Cadmio* (mg L ⁻¹)	0.03
Sólidos Sedimentables (mg L ⁻¹)	5	Cianuros* (mg L ⁻¹)	0.01
Sólidos Suspendedos Totales (mg L ⁻¹)	400	Cobre* (mg L ⁻¹)	0.10
DBO ₅ Total (mg L ⁻¹)	370	Cromo* (mg L ⁻¹)	0.10
DBO ₅ Soluble (mg L ⁻¹)	160	Mercurio* (mg L ⁻¹)	0.001
DQO Total (mg L ⁻¹)	1,070	Níquel* (mg L ⁻¹)	0.1
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	70	Plomo* (mg L ⁻¹)	0.2
Nitrógeno Amoniacal (mg L ⁻¹)	40	Zinc* (mg L ⁻¹)	0.40
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg L ⁻¹)	70	Coliformes Fecales (NMP 100mL ⁻¹)	5 x 10 ⁷
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	14	Huevos de Helminto (HH L ⁻¹)	3

* Medidos como totales

3.3.2. Flujos de entrada y salida

La PTARM-GBU fue diseñada con una capacidad de 70 Lps, sin embargo, el caudal promedio que llega a la Planta alcanza sólo los 48 Lps, que equivalen al 68% (Figura 3.6). Las pérdidas por el tratamiento y evaporación llegan a alcanzar poco más del 10%, las cuales ocurren en las temporadas de mayor calor. A partir de noviembre de 2009 parte del efluente de esta planta se utiliza en el riego de áreas verdes en la zona oriente de la ciudad, con un flujo promedio de 28 lps incrementándose en últimas fechas hasta 34 Lps.

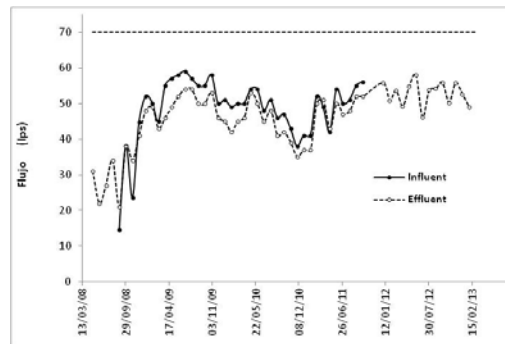


Figura 3.6. Flujos de agua a la entrada y salida de la PTARM-GBU

3.3.3. Remoción de los contaminantes principales

En el caso de la PTARM-GBU, la calidad del agua tratada también cumple con los requerimientos de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 y ocasionalmente sobrepasa los de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Calidad del efluente secundario de la Planta Tratadora del Gran Bosque Urbano y su cumplimiento con las normas NOM-001 y NOM-003

Parámetro	Límites de la norma NOM-001		Límites de la norma NOM-003		Periodo 2009-2012
	P.M.	P.D.	C.D.	C.I.	
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	150	200	20	30	2-12
SST (mg L ⁻¹)	150	200	20	30	2-11
DQO (mg L ⁻¹)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	20-30
pH (mg L ⁻¹)	5.0	10.3	N.A.	N.A.	7.1-8.0
Conductividad (µmhos cm ⁻¹)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1,058-1,937
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	1,000	2,000	240	1,000	4-237
Huevos de helminto (HH L ⁻¹)	≤ 1	≤ 5	≤ 1	≤ 5	0
Metales pesados*	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Arsénico (mg L ⁻¹)	0.2	0.4	0.2	0.4	<0.2
Cadmio (mg L ⁻¹)	0.5	0.1	0.5	0.1	<0.5
Cianuro (mg L ⁻¹)	2.0	3.0	2.0	3.0	<2.0
Cobre (mg L ⁻¹)	4	6.0	4	6.0	<4
Cromo (mg L ⁻¹)	0.5	1.0	0.5	1.0	<0.5
Mercurio (mg L ⁻¹)	0.005	0.01	0.005	0.01	<0.005
Níquel (mg L ⁻¹)	2	4	2	4	<2
Plomo (mg L ⁻¹)	5	10	5	10	<5
Zinc (mg L ⁻¹)	10	20	10	20	<10

* Medidos de manera total., P.D.=Promedio Diario, P.M.=Promedio Mensual
N.A.=No es aplicable, C.D.=Contacto directo, C.I.=Contacto indirecto u ocasional

En el caso de la PTARM-GBU, el valor promedio de DBO en el influente es de 418 mg L⁻¹, mientras que el de SST es de 285 mg L⁻¹. Una vez pasado el tratamiento de las aguas, los valores de tales parámetros alcanzan 5.1 y 3.7 mg L⁻¹, en DBO y SST, lo que corresponde a remociones superiores al 98% (Figura 3.7). Lo anterior implica que el agua tratada cubre ampliamente las especificaciones de las normas NOM-001-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997, indicando así que la planta opera con eficiencia.

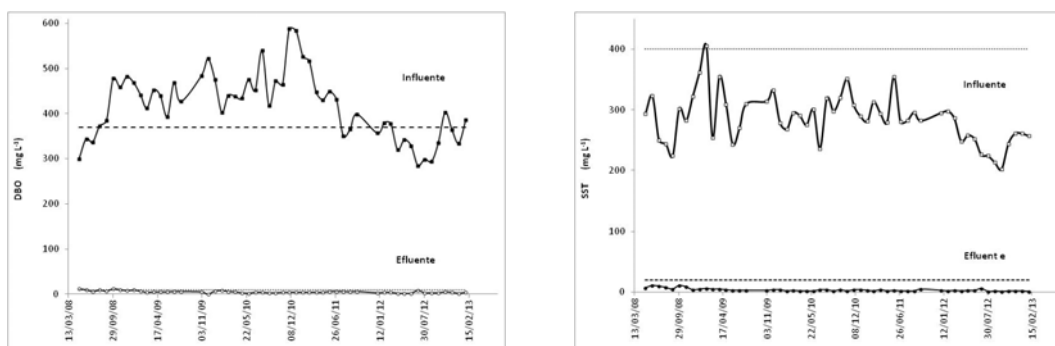


Figura 3.7. DBO y SST en el influente y efluente de la PTARM-GBU

Al respecto de la conductividad, el agua residual que alimenta a la Planta presenta un valor promedio de 1,692 µmhos cm⁻¹ y después del tratamiento este valor desciende a 1,391 µmhos cm⁻¹

Finalmente, debido a la naturaleza intrínsecamente doméstica de las aguas residuales tratadas, la concentración en metales pesados es baja tanto en el influente como en el efluente, cubriendo perfectamente las especificaciones de norma.

3.4. Planta Tratadora de Ramos Arizpe

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ramos Arizpe (PTARM-RA) 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.

Esta planta fue diseñada para tratar únicamente las aguas domésticas de esta ciudad y tiene una capacidad de tratar 160 litros por segundo. 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. La operación adecuada de esta planta, ha permitido al Municipio de Ramos Arizpe obtener de Conagua una condonación por 25 millones de pesos, por descargas de agua residual a cuerpos receptores de propiedad nacional.

En la Figura 3.8 se representan los componentes principales de la PTAR de Ramos Arizpe. Esta consiste esencialmente en: un pre-tratamiento (rejilla y desarenador), dos trenes de tratamiento biológico (sistema de lodos activados), que constan de un reactor (con difusores de burbuja fina) y un clarificador secundario cada uno; 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 dos reactores se envían a la línea de alimentación a los dos mismos.

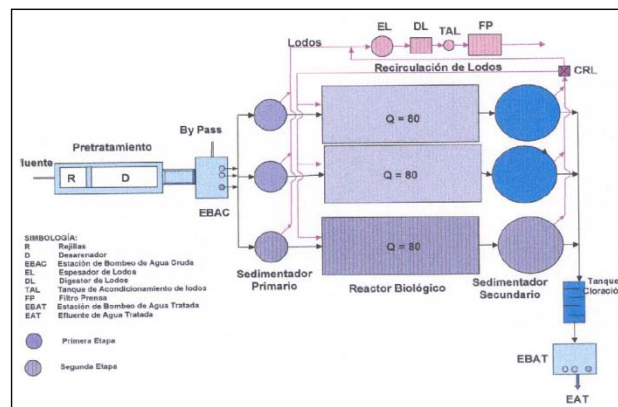


Figura 3.8. Diagrama esquemático de la PTARM de Ramos Arizpe

La planta cuenta con dos sopladores de 300 HP cada uno, de los cuales sólo uno se encuentra en operación normal. El oxígeno disuelto en los reactores (1-2 mg L⁻¹) por lo general, se controla mediante una válvula.

El efluente secundario clorado se descarga al arroyo La Encantada a través de una tubería de varios cientos de metros de longitud. Mientras que los lodos deshidratados se envían al Confinamiento de Residuos Industriales José Guadalupe Jiménez, localizado en el Municipio de Ramos Arizpe.

La operación así como el mantenimiento de la PTAR de Ramos Arizpe está contratada con la empresa DOMOS a partir de octubre de 2007. Esta compañía opera y da mantenimiento a la PTAR de Ramos Arizpe a través de un contrato estipulado por un periodo de 25 años. Como contra-prestación, el Municipio de Ramos Arizpe hace un pago mensual a DOMOS, el cual se calcula de acuerdo a los costos fijos y variables de operación, los primeros de los cuales se actualizan en base anual, y los segundos mes por mes en base al salario mínimo, la tarifa eléctrica base, el precio de mercado de los productos químicos y el Índice Nacional de Precios al Consumidor. La tarifa de referencia, para el 1° de octubre de 2007, fecha de firma del contrato entre los dos organismos fue de \$0.88 (ochenta y ocho centavos) por metro cúbico de agua residual tratada.

De acuerdo al contrato, el reúso y la venta del agua tratada son también parte de las responsabilidades de DOMOS. Cabe anotar que el precio de venta acordado por metro cúbico de agua residual tratada, que debe actualizarse mediante mutuo acuerdo entre el Municipio y DOMOS, al menos una vez por año durante el plazo de concesión, es de \$6.80.

3.4.1. Parámetros de Diseño

Uno de los puntos más relevantes del contrato entre el municipio de Ramos Arizpe y DOMOS es la calidad del agua a la entrada de la PTARM-RA (Tabla 3.6), la cual es responsabilidad del Municipio.

Tabla 3.6. Calidad que debe cubrir del influente de las ARM en la PTARM-RA

Parámetro	Valor promedio	Parámetro	Valor promedio
Grasas y Aceites (mg L ⁻¹)	30	Cobre* (mg L ⁻¹)	0.47
Sólidos Sedimentables (mg L ⁻¹)	4	Cromo* (mg L ⁻¹)	0.07
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	280	Mercurio* (mg L ⁻¹)	0.006
DBO ₅ Total (mg L ⁻¹)	360	Níquel* (mg L ⁻¹)	0.68
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	65	Plomo* (mg L ⁻¹)	0.14
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	12	Zinc* (mg L ⁻¹)	0.88
Arsénico* (mg L ⁻¹)	0.004	Coliformes Fecales (NMP 100mL ⁻¹)	2 x 10 ⁷
Cadmio* (mg L ⁻¹)	0.09	Huevos de Helminto (HH L ⁻¹)	3
Cianuros* (mg L ⁻¹)	0.094		

* Medidos como totales

La empresa operadora de la PATARM-RA corrobora la calidad del influente y efluente a través de tres tipos de análisis:

- a). En el laboratorio de la planta se determinan pH, sólidos sedimentables y oxígeno disuelto; además de la temperatura.
- b). Cada semana se toman muestras de la alimentación y el efluente secundario para determinar DBO₅, DQO y SST en el laboratorio no certificado "Análisis Químico Industrial" de Saltillo.
- c). Mensualmente se realiza un análisis completo del efluente secundario por el laboratorio certificado PEI en Monterrey, donde se determinan: DBO₅, SST, Grasas y aceites, sólidos sedimentables, cianuros, fósforo total, nitratos, metales pesados, coliformes y huevos de helminto.

De acuerdo al contrato con DOMOS, el agua residual tratada deberá cumplir con los límites máximos establecidos en la Tabla 3.5.

Tabla 3.7. Calidad que debe cubrir del influente de las ARM en la PTARM-GBU

Parámetro	Valor promedio		Parámetro	Valor promedio	
	Mensual	Diario		Mensual	Diario
Grasas y Aceites (mg L ⁻¹)	15	25	Cobre* (mg L ⁻¹)	0.47	6
Sólidos Sedimentables (mg L ⁻¹)	1.0	2.0	Cromo* (mg L ⁻¹)	0.07	1.5
Sólidos Suspendedos Totales (mg L ⁻¹)	75	100	Mercurio* (mg L ⁻¹)	0.006	0.02
DBO ₅ Total (mg L ⁻¹)	75	100	Níquel* (mg L ⁻¹)	0.68	4
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	40	60	Plomo* (mg L ⁻¹)	0.14	1
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	12	30	Zinc* (mg L ⁻¹)	0.88	20
Arsénico* (mg L ⁻¹)	0.004	0.4	Coliformes Fecales (NMP 100mL ⁻¹)	1000	2,000
Cadmio* (mg L ⁻¹)	0.09	0.4	Huevos de Helminto (HH L ⁻¹)	1	1
Cianuros* (mg L ⁻¹)	0.094	3			

* Medidos como totales

Es importante anotar que no se estableció ningún límite para el contenido total de sales (Sólidos Disueltos Totales) del agua residual, ni para los cationes y aniones relevantes (dureza total, o de calcio y magnesio, alcalinidad total, sulfatos, cloruros, etc.). El alto contenido de sales ha sido la objeción principal que han manifestado los usuarios industriales potenciales al agua residual tratada de Ramos Arizpe.

3.4.2. Flujos de entrada y salida

Los flujos de alimentación a la planta tratadora varían a lo largo del día; generalmente el flujo máximo se obtiene alrededor de las 2:00 pm y el mínimo a las 6:00 am.

Los valores promedio de un día normal varían entre 75.8 y 138.0 Lps para la alimentación y 56.5 y 114.9 Lps para el efluente secundario (Figura 3.9).

El caudal del influente representa sólo el 54% del volumen extraído por SAPARA. Esto indica una deficiente captación de las redes de drenaje, al igual que el municipio de Saltillo. Los operadores de la planta han indicado que en algunas ocasiones, el influente a la planta es disminuido por extracciones de agua para utilizarla en labores agrícolas (aguas arriba de la ubicación de la planta), y que el bajo flujo pudo deberse a que el emisor fue destruido parcialmente por el huracán Alex (junio del año 2010) provocando fugas de agua que no llegan a la planta de tratamiento.

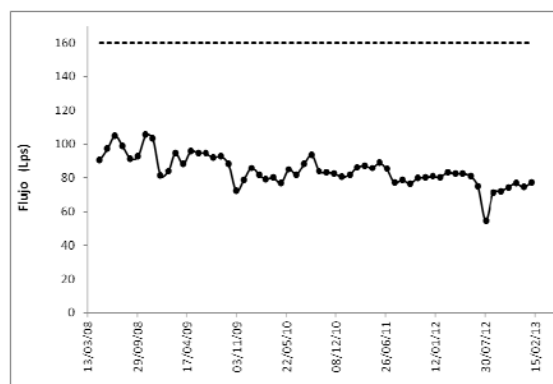


Figura 3.9. Flujos de agua a la entrada la PTARM-RA

3.4.3. Remoción de los contaminantes principales

La calidad del agua tratada en la planta tratadora de Ramos Arizpe (Tabla 3.8) cumple con los requerimientos de la norma NOM-001-SEMARNAT para ríos que se utilizan para riego agrícola, pero ocasionalmente ha sobrepasado los de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, en lo que a DBO₅, SST y coliformes fecales para contacto directo, y sólo el límite de DBO₅ para contacto indirecto.

Tabla 3.8. Calidad del efluente secundario de la Planta Tratadora de Ramos Arizpe y su cumplimiento con las normas NOM-001 y NOM-003

Parámetro	Límites de la norma NOM-001		Límites de la norma NOM-003		Periodo 2009-2012
	P.M.	P.D.	C.D.	C.I.	
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	150	200	20	30	1-41
SST (mg L ⁻¹)	150	200	20	30	4-30
DQO (mg L ⁻¹)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	10-149
pH (mg L ⁻¹)	5.0	10.3	N.A.	N.A.	6.3-7.5
Conductividad (µmhos cm ⁻¹)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1,976-2,387
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	1,000	2,000	240	1,000	2-890
Huevos de helminto (HH L ⁻¹)			≤ 1	≤ 5	
Metales pesados*	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Arsénico (mg L ⁻¹)	0.2	0.4	0.2	0.4	<0.2
Cadmio (mg L ⁻¹)	0.5	0.1	0.5	0.1	<0.5
Cianuro (mg L ⁻¹)	2.0	3.0	2.0	3.0	<2.0
Cobre (mg L ⁻¹)	4	6.0	4	6.0	<4
Cromo (mg L ⁻¹)	0.5	1.0	0.5	1.0	<0.5
Mercurio (mg L ⁻¹)	0.005	0.01	0.005	0.01	<0.005
Níquel (mg L ⁻¹)	2	4	2	4	<2
Plomo (mg L ⁻¹)	5	10	5	10	<5
Zinc (mg L ⁻¹)	10	20	10	20	<10

* Medidos de manera total., P.D.=Promedio Diario, P.M.=Promedio Mensual
N.A.=No es aplicable, C.D.=Contacto directo, C.I.=Contacto indirecto u ocasional

Los valores de DBO₅ y SST para el influente y efluente de la PTARM-RA se muestran en las Figura 3.10. El valor promedio de la DBO₅ del influente es de 376 mg L⁻¹, mientras que los SST están alrededor de 237 mg L⁻¹. Se puede ver en la gráfica de la Figura 3.10 que el valor de de DBO₅ tiene grandes variaciones; esto se puede deber a descargas a la red de drenaje de agua residuales industriales sin tratamiento. No obstante el valor promedio de DBO₅ en la descarga es de 18 mg L⁻¹, similar al valor de la PTARM-Principal.

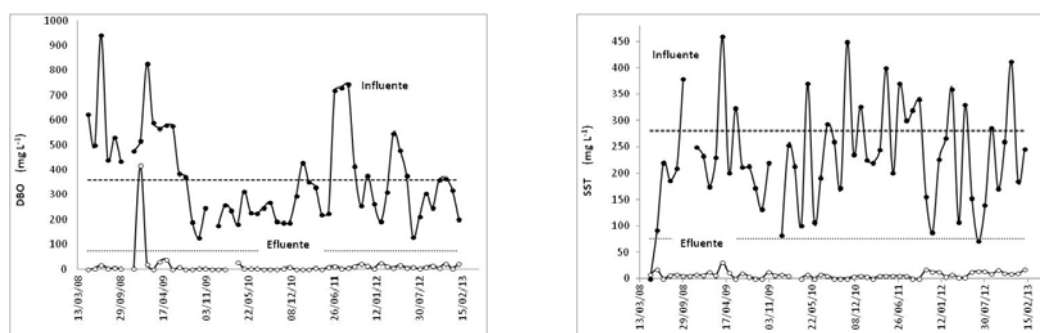


Figura 3.10. DBO y SST en el influente y efluente de la PTARM-RA

La concentración de SST en el influente de la planta presenta altas variaciones, sin embargo, el robusto proceso de operación de la planta permite cumplir ampliamente con la especificación de diseño, alcanzando remociones del 96.4 % de SST y 95.1 % de DBO.

Al respecto de la conductividad, es importante mencionar que el agua proporcionada por la red de abastecimiento del municipio tiene concentraciones altas de sales que alcanzan valores superiores a los 2,000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$. Así, tanto en la alimentación como en el efluente secundario, el contenido de sales es del orden de 2,200-2,800 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$. Cabe remarcar que el tratamiento biológico no remueve ninguno de estos parámetros, y que las industrias que se abastezcan de este tipo de agua tendrían que someterla a un proceso de desalación (ósmosis inversa o electro-diálisis) precedido de un pre-tratamiento adecuado para remover grasas y aceites, turbiedad y materia orgánica residual.

3.5. Aguas Residuales Municipales que no reciben tratamiento

Durante el establecimiento del diseño de la PTARM-Principal, se acordó tratar en esta planta una mezcla de: *a)* las aguas residuales domésticas no tratadas en la PTARM-GBU y *b)* las AR de las industrias localizadas en el valle de Saltillo, que son parte de este municipio.

Estas aguas residuales sin tratar se descargan directamente al arroyo Cárdenas o al arroyo El Pueblo, los cuales confluyen en el arroyo La Encantada, un poco al norte de la Planta Tratadora Principal y del límite entre los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe.

La Figura 3.11 presenta parte del plano del Municipio de Ramos Arizpe en el que se pueden apreciar los cauces de los tres arroyos mencionados y la localización de la Planta Tratadora Principal de Saltillo.

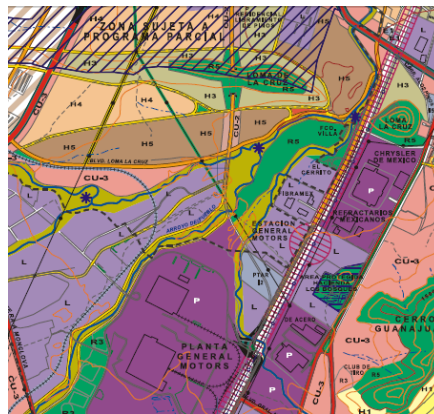


Figura 3.11. Parte del plano del Municipio de Ramos Arizpe

En un recorrido realizado en mayo de 2009 por los arroyos Cárdenas, El Pueblo y La Encantada, en temporada de secas, se pudo constatar que los dos primeros conducían varias decenas de litros por segundo de flujo continuo, antes de la descarga de la PTAR Principal.

El agua del arroyo El Pueblo lucía más cristalina y aunque tenía un contenido relativamente bajo de DBO₅, su conductividad (2,200 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$) era mayor que la del efluente de la Planta Tratadora Principal (1,800 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$). En las imágenes de la Figura 3.12 se muestra el color y flujo del agua observado.



Figura 3.12. Arroyo El Pueblo en época de estiaje (a un lado del Complejo Industrial Ramos Arizpe de General Motors)

El flujo del arroyo La Encantada era mucho mayor que la de Los Cárdenas (antes de la descarga de la PTAR Principal) y El Pueblo, debido a la contribución del efluente de la tratadora. En cambio, el arroyo Cárdenas tenía un contenido alto de DBO_5 y DQO, característico de un agua doméstica no tratada. En esta, se apreciaba además un color oscuro y mal olor. En la Figura 3.13 se muestran imágenes del aspecto de esta agua.



Figura 3.13. Arroyo Cárdenas en época de estiaje (anexo a la Planta DeAcero en Ramos Arizpe)

El arroyo La Encantada, formado por la confluencia de los arroyos Cárdenas y El Pueblo, tiene un flujo mucho mayor de agua, debido a la descarga de la PTAR Principal (Figura 3.14).



Figura 3.14. Arroyo La Encantada (cruce con carretera paralela a Los Pinos, al sur de Ramos Arizpe)

4. Arroyo La Encantada, depositario final de la mayor parte de las aguas residuales de Saltillo y Ramos Arizpe

4.1. Introducción

El arroyo La Encantada ha tenido un papel protagónico en la vida de Saltillo y Ramos Arizpe durante muchos siglos. La agricultura regional ha dependido en gran medida del agua de este arroyo, aunque también utiliza (y ha utilizado) otras fuentes superficiales y subterráneas, muchas de las cuales se han ido agotando con el tiempo. Otra actividad productiva que ha dependido del agua que transportan al arroyo y sus tributarios, así como de la arcilla de los terrenos aledaños, es la fabricación de adobes, ladrillos y mosaicos de barro.

A partir de la década de los setenta del siglo pasado, empezó a efectuarse la descarga masiva de las aguas residuales de Saltillo al arroyo La Encantada, debido a que ya no se requirieron estas aguas para riego agrícola en zonas relativamente extensas del norte de la ciudad, por la construcción de nuevos fraccionamientos. Este influjo de aguas negras provocó la contaminación del arroyo al norte de Saltillo y en Ramos Arizpe, lo que tuvo al menos tres consecuencias graves: a) los ramosarizpenses tuvieron que renunciar a sus sitios predilectos para el esparcimiento familiar, ya que el contacto con el agua del arroyo podía afectar su salud; b) las pequeñas sardinitas (*Gila modesta*), que antes abundaban en el arroyo, desaparecieron por completo; y c) la Comisión Nacional del Agua prohibió el riego de verduras y otros vegetales para consumo humano con las aguas contaminadas de La Encantada, y permitió sólo el cultivo de forrajes.

Con la puesta en marcha de dos plantas tratadoras municipales en Saltillo (la Principal y la del Gran Bosque Urbano) y la de Ramos Arizpe, en los años 2007 y 2008, se remedió parcialmente la contaminación del arroyo. Sin embargo, a la fecha no todas las aguas residuales domésticas de las dos ciudades están encausadas a las plantas tratadoras; y se descargan, tanto a La Encantada como a sus afluentes, aguas residuales industriales sin tratar, o después de haber recibido un tratamiento inadecuado. Por lo tanto, la contaminación del agua del arroyo persiste.

El tratamiento de las aguas residuales municipales ha dado lugar al planteamiento de varios proyectos de reúso, mediante los cuales las administraciones municipales de Saltillo y Ramos Arizpe pretenden recuperar los costos de operación y mantenimiento de las plantas tratadoras, sin tener en cuenta los aspectos medioambientales y socioeconómicos que la venta en gran escala de las aguas tratadas podría tener sobre la región y especialmente sobre los campesinos (ejidatarios y pequeños propietarios de Ramos Arizpe) que usan el agua de La Encantada.

4.2. Información geográfica del arroyo La Encantada

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 noreste pasando por la ciudad de Saltillo y Ramos Arizpe y el poblado de Paredón, con una longitud de 77 km hasta su confluencia con el arroyo Patos.

En la Figura 4.1 se presenta la localización de los arroyos Patos y La Encantada en los municipios de General Cepeda, Saltillo y Ramos Arizpe. También se muestran las cuencas hidrográficas y el recorrido de las aguas de la cuenca del río San Juan (al que desemboca indirectamente La Encantada) hacia el Golfo de México.

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.



Figura 4.1. Localización de los arroyos Patos y La Encantada en los municipios de General Cepeda, Saltillo y Ramos Arizpe

Entre los principales tributarios de La Encantada se destacan los arroyos Flores, Ceballos, La Tórtola, Los Ojitos, Charquillo o Cárdenas y Blanco (proveniente de Arteaga), entre otros. En su paso por la ciudad de Saltillo, el arroyo La Encantada recibe el nombre de Arroyo Del Pueblo (Figura 4.2). Este arroyo recupera su nombre después de su confluencia con el arroyo Cárdenas (también conocido como Madre o Charquillo), el cual se forma al juntarse los arroyos Ceballos, la Tórtola, Los Ojitos y otros menores provenientes de Saltillo.



Figura 4.2. Trayectoria del arroyo La Encantada en su paso por las zonas urbanas de Saltillo y Ramos Arizpe

4.3. Historia del arroyo La Encantada

4.3.1. Hasta los años setenta del siglo XIX

El arroyo La Encantada ha tenido un papel relevante en la historia de Saltillo y de Ramos Arizpe. Desde la fundación de Saltillo hasta finales de los años sesenta del siglo pasado, el agua de La Encantada era relativamente limpia. De tal manera que tomar chapuzones en el agua del arroyo era para los habitantes de Saltillo y Ramos Arizpe una fuente de diversión. En el municipio de Ramos Arizpe aún existen algunos remansos usados para esparcimiento, aunque algunos de los huracanes que han pasado por la región han destruido parte de sus orillas. En la imagen de la Figura 6.3 se muestra lo que todavía queda de la poza Las Isabeles, lugar que recibió incontables visitas de paseantes escolares y otros, en la zona urbana de Ramos Arizpe.



Figura 4.3. Poza de Las Isabeles, en el arroyo La Encantada en Ramos Arizpe

Durante casi cuatro siglos, los agricultores de Saltillo (empezando por los tlaxcaltecas) y Ramos Arizpe que poseían tierras a los dos lados del arroyo, usaron sus aguas para el riego de huertas y parcelas agrícolas, en las que cultivaban nogales y otros árboles frutales, verduras y vegetales diversos (trigo y vides principalmente).

Otra actividad dependiente del agua del arroyo La Encantada, que alcanzó un auge importante en Saltillo en la segunda mitad del siglo XX, fue la fabricación de ladrillos, adobes y loseta cerámica.

4.3.2. Desde los años setenta del siglo XIX hasta la construcción de las PTARM en Saltillo y Ramos Arizpe

La contaminación de las aguas del arroyo La Encantada se originó a finales de los años sesenta del siglo pasado, al iniciar la descarga masiva de las aguas residuales de Saltillo al cauce del arroyo. Esto se debió a la construcción de nuevos fraccionamientos (Hacienda de Peña, Doctores, San Agustín, Valle Real, San Isidro, Los Lagos, etc.) en zonas relativamente extensas del norte de esa ciudad, que hasta entonces se usaban para riego agrícola.

El influjo de aguas negras al arroyo provocó su contaminación al norte de Saltillo y en Ramos Arizpe, lo cual tuvo al menos tres consecuencias graves: a) los ramosarizpenses tuvieron que renunciar al sitio predilecto para el esparcimiento familiar, ya que nadar en sus aguas podría afectar su salud; b) las pequeñas sardinitas (*Gila modesta*) que antes abundaban, desaparecieron por completo; y c) los agricultores de esta población se vieron afectados, ya que la Comisión Nacional del Agua prohibió el riego de verduras y otros vegetales para consumo humano con el agua del arroyo, y permitió sólo el cultivo de forrajes. A pesar de esa prohibición, tanto en Saltillo y en Ramos Arizpe se han seguido regando, además de forrajes, huertas de frutales y parcelas de maíz, frijol y otros vegetales con agua del arroyo. En las imágenes de la Figura 4.4 se puede observar una parcela de Nogales adyacente al arroyo La Encantada, que es regada con agua del arroyo, así como sembradíos de maíz en Saltillo (frente a la Colonia Asturias) y Ramos Arizpe (aguas abajo del puente Los Pinos).



Figura 4.4. Parcelas de nogales y cultivos de maíz regados con agua del arroyo La Encantada en Saltillo y Ramos Arizpe

La fabricación de ladrillos continúa, aunque su importancia para la economía regional ha disminuido mucho en los últimos años. Según se pudo corroborar en dos recorridos realizados por las márgenes del arroyo Flores las empresas ladrilleras obtienen agua para la fabricación de ladrillos de tres formas diferentes: a) por bombeo directo del arroyo La Encantada; b) por bombeo del arroyo Flores hacia represas (Figura 4.5), de donde se envía el agua a la ladrillera, y c) taponeando uno de los colectores de aguas negras que pasan por el área, y desviando el agua al arroyo Flores, de donde se bombea a la represa y/o las ladrilleras.



Figura 4.5. Agua represada en la zona del arroyo Flores para uso en las ladrilleras

Además de la contaminación del agua de La Encantada y sus afluentes, la descarga de aguas negras a estos cauces ha acarreado otros trastornos, donde destacan: a) el deterioro de las aguas subterráneas en el subsuelo y los suelos en las márgenes del arroyo; b) problemas de salud en las poblaciones que viven en las márgenes del arroyo; y c) problemas de salud producidos por el consumo de productos agrícolas que se riegan con el agua del mismo. Sin embargo, estos problemas han sido poco estudiados en forma sistemática, y se tiene poco conocimiento sobre su alcance.

Las tres últimas décadas del siglo pasado fueron testigo de varios intentos de mejorar la situación de contaminación del arroyo, que finalmente culminaron con la construcción y puesta en marcha de tres plantas tratadoras para el tratamiento de las aguas residuales de Saltillo y Ramos Arizpe. Estos proyectos requirieron la acción de autoridades de los niveles federal, estatal y municipal.

4.3.3. Desde la construcción de las PTARM en Saltillo y Ramos Arizpe

El proceso de saneamiento ambiental del arroyo La Encantada no se inició en respuesta a ninguna demanda iniciada por uno o varios grupos de residentes de las márgenes del arroyo, sino al cumplimiento de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. En dicha regulación también se establecen las fechas de cumplimiento para las descargas municipales (1 de enero de 2000 para los municipios con una población mayor de 50000 habitantes, 1 de enero de 2005 para los que tienen entre 20001 y 50000, y 1 de enero de 2010 para los de 2501 a 20000 habitantes).

Así, con el fin de dar cumplimiento a la norma, se construyeron varios emisores y tres plantas tratadoras de aguas residuales municipales en Saltillo y Ramos Arizpe.

La operación de emisores y plantas ha dado lugar a la reducción de la contaminación del agua que corre por el arroyo La Encantada y algunos de sus afluentes, en especial aguas abajo de la Planta Tratadora Principal de Saltillo. Sin embargo, quedan todavía numerosas descargas de aguas residuales domésticas sin tratar, así como descargas de aguas residuales industriales no tratadas o parcialmente depuradas, que llegan a los arroyos.

4.4. Caudales y aforos del Arroyo La Encantada

De acuerdo con un estudio sobre los aforos realizados al caudal del arroyo entre 1985 y 1986 (De León, 1986), en ese periodo, el gasto de agua es relativamente constante, disminuyendo ligeramente, como es de esperar, en los meses de estiaje (Figura 4.6). En la Figura, el punto de partida, o distancia 0 km, es el ubicado en confluencia del Arroyo Charquillo (también conocido como Cárdenas o Madre).

En ese punto, el gasto de agua tiene una tendencia a la baja a lo largo del año, disminuyendo en ese periodo alrededor del 20% (de 647 a 522 Lps).

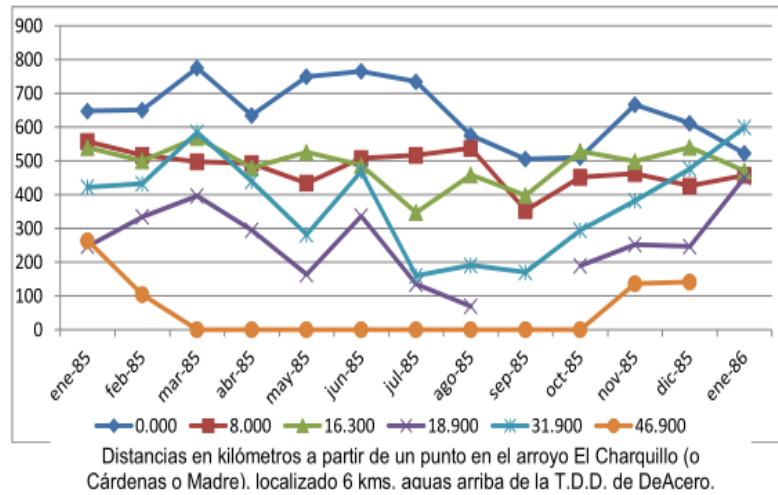


Figura 4.6. Variación del caudal en el Arroyo La Encantada a lo largo de su cauce entre 1985 y 1986. Datos tomados de De León (1986)

Por otra parte, en la Figura 4.7 se muestra un gráfico del comportamiento del gasto mensual, entre enero de 1895 y enero de 1986, de las tomas derivadoras a usuarios de agua del Arroyo La Encantada en diferentes puntos de su trayectoria hasta el km 18.3. De manera similar a lo observado en el cauce del arroyo, también en las tomas derivadoras se pudo observar una tendencia generalizada hacia la baja en el gasto de agua a lo largo del periodo.

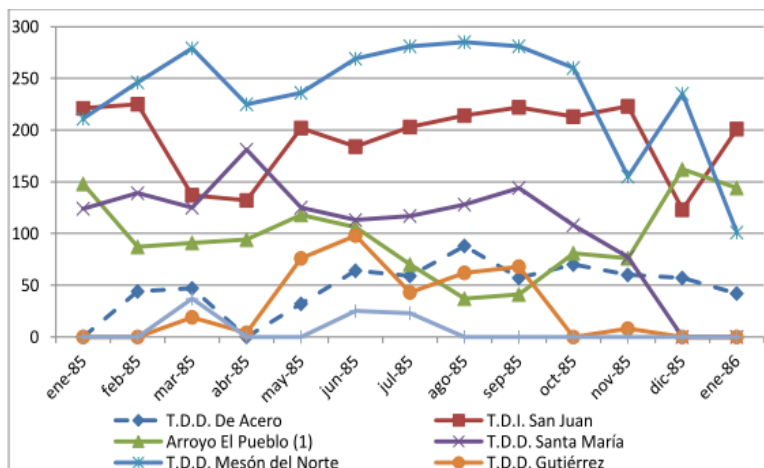


Figura 4.7. Promedio mensual de gastos en las tomas derivadoras a usuarios de agua del Arroyo La Encantada. Datos tomados de De León (1986)

Finalmente, en la Figura 4.8 se presenta un hidrograma realizado en el mismo periodo por personal de la CONAGUA. En 1985 el arroyo Charquillo, también es conocido como arroyo Cárdenas o Madre,

recibía las descargas del colector Principal de la ciudad de Saltillo, situación que se remedió en 2007 mediante la construcción del Emisor Principal.

En el hidrograma, el espacio entre las líneas es indicativo del flujo de agua que se extrae del arroyo a lo largo del mismo (de izquierda a derecha). La única entrada de agua, de acuerdo con el hidrograma es la del arroyo del Pueblo (92 Lps) en la margen izquierda del arroyo Charquillo. Después de la confluencia de los dos arroyos, la corriente toma el nombre de arroyo La Encantada.

En aquel entonces, los arroyos Charquillo, del Pueblo y La Encantada recibían (y todavía reciben) el agua de algunos colectores de aguas negras domésticas; los dos últimos reciben además las descargas de algunas industrias al poniente de las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe.

El hidrograma indica que la última extracción importante tenía lugar en el ejido Mesillas, y que en Alambar y Paredón el arroyo por lo general estaba seco (sólo se podía extraer agua en forma ocasional).

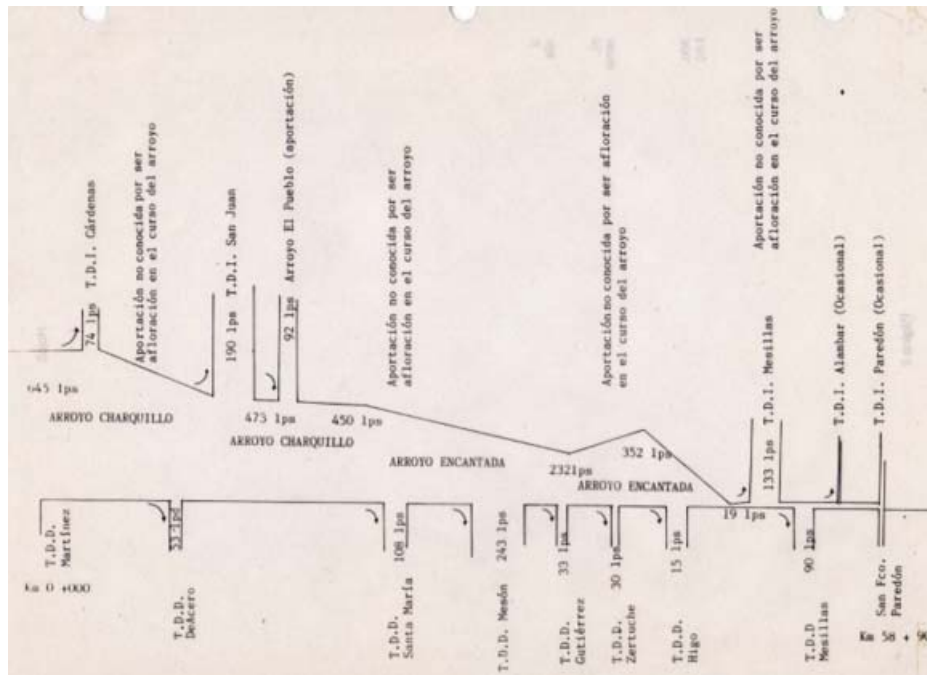


Figura 4.8. Hidrograma de los arroyos Charquillo y La Encantada entre enero de 1985 y enero de 1986. (Cortesía de la Delegación Local de la CONAGUA)

En la actualidad, en el municipio de Ramos Arizpe, el arroyo La Encantada lleva un flujo importante de agua (aun en épocas de estiaje), ya que recibe las aguas residuales municipales tratadas en la Planta Tratadora Principal de Saltillo, cuyo flujo es de 750 Lps en promedio. Además también conduce aguas residuales domésticas sin tratar y aguas residuales industriales con depuración parcial o nula, que representan un promedio de 250 Lps.

Al respecto de los caudales de los canales de riego en algunos ejidos al norte de Ramos Arizpe por donde pasa el arroyo La Encantada, en la Tabla 4.1 se presentan los aforos realizados en el año 2012.

Tabla 4.1. Aforos de los canales de riego de los diversos ejidos que aprovechan agua del arroyo La Encantada

Localidad	Caudal (Lps)
Santa María	*
Mesón del Norte	101.7
Zertuche (Altamira)	13.5
Higo	303.4
Mesillas - Margen derecha	284.8
Mesillas - Margen izquierda	271.8
San Rafael	*
Paredón Izquierda	40.0
San Francisco Paredón	**
Totales	≈1000

(*) No recibe agua ya que su toma se destruyó con el huracán Alex.

(**) El canal no conducía agua el día en que se realizaron los aforos.

4.5. Principales contaminantes del agua del Arroyo La Encantada

En general, la composición química del agua de los ríos y arroyos está determinada por diversos factores, entre ellos se puede mencionar la lluvia, las descargas de contaminantes o los procesos biológicos. También la erosión natural de rocas es un factor importante.

Por otro lado, los sedimentos depositados en el lecho de las corrientes de agua constituyen un registro de los procesos ocurridos a lo largo del tiempo. Dependiendo de su composición y de la capacidad del fondo del cauce para retenerlos, pueden convertirse en fuentes de contaminación. Por lo tanto, para medir la contaminación de un río o arroyo, además de analizar la calidad del agua, es importante conocer la composición química de los sedimentos del fondo, cuyas características físico químicas dependen, entre otros, de la presencia de materia orgánica y la actividad bacteriana.

El arroyo La Encantada es uno de los casos emblemáticos de contaminación acuática de la zona sureste de Coahuila. Aunque el curso del arroyo no ha sido artificialmente rectificado, la fisonomía ambiental original del arroyo se ha alterado por el proceso desordenado de ocupación de su cuenca, en la que se distinguen tres zonas de características diferentes (Figura 4.9): a) la cuenca alta, rural, que todavía muestra condiciones ambientales satisfactorias; ésta se extiende desde el nacimiento del arroyo hasta la parte sur de la zona urbana de Saltillo; b) la cuenca media, urbanizada o en vías de urbanización, la cual comprende las zonas urbanas de Saltillo y Ramos Arizpe; y c) la cuenca baja, en la zona rural de Ramos Arizpe, que abarca desde la salida de la zona urbana de esta ciudad hasta la desembocadura en el arroyo Patos (Figura 4.9).



Figura 4.9. Zonas características en la cuenca del Arroyo La Encantada

Como se mencionó antes, la contaminación del arroyo empieza a darse en la zona urbana de Saltillo, debido principalmente a la descarga de aguas domésticas de varias colonias no conectadas al drenaje de la ciudad y de algunas descargas industriales. Más adelante se reciben también aguas domésticas de asentamientos humanos localizados en el norte de Saltillo y Ramos Arizpe, así como la contaminación de varios parques industriales, que en algunos casos descargan en el arroyo la mayor parte de sus efluentes sin tratar, o con tratamiento insuficiente.

Durante cerca de cuarenta años la mayor parte de la contaminación se debía a las descargas de aguas residuales domésticas, pero ésta disminuyó en buena medida una vez que las PTARM entraron en operación. Sin embargo, el arroyo sigue recibiendo una buena cantidad de contaminación doméstica e industrial, de lo cual dan cuenta los siguientes hechos:

- a. los flujos relativamente bajos de aguas residuales que se han tratado a partir de la puesta en operación de las plantas municipales.
- b. los flujos de aguas residuales no tratadas (domésticas e industriales con diferentes tipos de contaminantes) que se descargan en La Encantada y sus afluentes, los cuales son fácilmente observables desde sus orillas (Figura 4.10a)
- c. el flujo de agua del arroyo La Encantada aguas abajo de la PTARM-Principal (≈ 1000 Lps), el cual es superior al del agua tratada en dicha planta;
- d. la contaminación aparente (color, turbidez, espuma, mal olor) del agua del arroyo aguas abajo de la planta Tratadora Principal de Saltillo, en especial después de recibir las descargas domésticas e industriales de Ramos Arizpe (Figura 4.10b).



Figura 4.10. a) Descarga industrial de una fábrica del Parque Industrial PYDECO al arroyo, b) arroyo después de recibir la descarga industrial

Los contaminantes más relevantes del arroyo La Encantada a la salida de la zona urbana de Ramos Arizpe son: materia orgánica, sólidos suspendidos y coliformes fecales. La presencia de coliformes fecales resulta especialmente preocupante dado que, por un lado, las aguas del arroyo se usan para diferentes aplicaciones agropecuarias, que incluyen el riego de árboles frutales y vegetales para consumo humano; y por otro lado, se tiene planeado construir un Gran Bosque Urbano en las márgenes del arroyo, el cual se regaría con agua del mismo.

En la cuenca media de La Encantada, localizada en las zonas urbanas de Saltillo y Ramos Arizpe se realizan varias descargas de aguas residuales domésticas e industriales sin tratar a La Encantada; además, la basura existente en el arroyo y en sus márgenes, contamina el agua del mismo con materia orgánica, coliformes fecales, detergentes y otros contaminantes diversos, producto de la actividad humana.

4.5.1. Variación de la calidad del agua del arroyo La Encantada

La calidad de agua del arroyo ha variado a lo largo del tiempo: a través de los años y en los diferentes meses de un mismo año.

Existen pocos estudios documentados de la variabilidad de la calidad del agua en el arroyo. Tal es el caso de un reporte de tesis donde se analizó la concentración de 19 parámetros en el agua de La Encantada, para 25 puntos a lo largo del arroyo, en tres estaciones del año: invierno de 2000 y primavera y verano de 2001. De esos resultados encontrados se concluye que:

La conductividad eléctrica, los sólidos totales y los cloruros aumentan a medida que el agua se desplaza hacia el norte. Esto puede explicarse por las descargas de aguas residuales y la evaporación que tienen lugar a lo largo del cauce.

El pH y la demanda química de oxígeno son mayores en invierno para los 25 puntos de muestreo.

Para los demás parámetros no se observa un padrón definido de comportamiento.

Por otro lado, en un estudio posterior, se realizó la caracterización del agua del arroyo realizada a la altura del ejido Mesón del Norte, varios años antes de que se construyeran las plantas tratadoras de Saltillo y Ramos Arizpe (Tabla 4.2). De los resultados encontrados se observa que los valores de N total o de DBO₅ son mucho más altos de lo esperado, aun para aguas negras crudas; de igual manera, el valor de oxígeno disuelto es muy alto, probablemente debido a un error de medición. Los SST y los sedimentables, en cambio, son más bajos que lo esperado.

Tabla 4.2. Caracterización de las aguas del arroyo La Encantada a su paso por el Ejido El Mesón del Norte en Ramos Arizpe, Coahuila

Parámetro	Valor promedio (2004)	Parámetro	Valor promedio (2004)
Temperatura (°C)	21.8	Cloro libre residual (mg L ⁻¹)	<0.01
pH	7.89	Ca (CaCO ₃) (mg L ⁻¹)	396.67
Conductividad (µmhos cm ⁻¹)	2524.25	Coliformes totales NMP/100 mL	2400000
N total (mg L ⁻¹)	365.44	Coliformes fecales NMP/100 mL	110000
N nitritos (mg L ⁻¹)	< 0.03	Hg (mg L ⁻¹)	0.00
N nitratos (mg L ⁻¹)	0.15	Ni (mg L ⁻¹)	0.48
O ₂ disuelto (mg L ⁻¹)	40.63	Sólidos totales (mg L ⁻¹)	2480
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	1256.1	Sólidos suspendidos totales (mg L ⁻¹)	130
Grasas y aceites (mg L ⁻¹)	30.43	Sólidos sedimentables (mg L ⁻¹)	0.55

Más recientemente, en marzo de 2012, de se realizaron varios análisis de la calidad del agua en varios puntos a lo largo del arroyo. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 4.3 a la 4.5.

Tabla 4.3. Calidad del agua de los canales de riego de los cinco ejidos que usan agua del arroyo La Encantada

Parámetro	Paredón	Mesillas	Higo	Zertuche	Mesón del Norte
pH	7.79	8.89	8.30	8.73	7.79
Conductividad ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	2175	2607	2090	2053	2175
Sólidos totales (mg L^{-1})	1865	1825	1865	1830	1865
SST (mg L^{-1})	225	10	275	20	225
SDT (mg L^{-1})	1640	1815	1590	1810	1640
Grasas y Aceites (mg L^{-1})	8.23	1.46	4.95	2.26	8.23
Alcalinid. AM	736	280.6	690.0	588.8	736
Alcalinid. FF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Arsénico (mg L^{-1})	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cadmio (mg L^{-1})	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Cobre (mg L^{-1})	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Cromo (mg L^{-1})	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Mercurio (mg L^{-1})	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Níquel (mg L^{-1})	<0.032	<0.032	<0.032	<0.032	<0.032
Plomo (mg L^{-1})	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Zinc (mg L^{-1})	0.119	0.019	0.251	0.021	0.019

Tabla 4.4. Calidad del agua de los canales de riego de los cinco ejidos que usan agua del arroyo La Encantada

Punto de muestreo	Distancia (km)	O ₂ (mg L^{-1})	Temp (°C)	Conductividad ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	Turbidez	SDT (mg L^{-1})	Temp Oxm (°C)
Pequeños propietarios de Ramos Arizpe	0	5.5	18.5	1770	12.75	890	19.3
Bocatoma de Mesón del Norte	10	1.6	16.6	1970	--	990	15.9
Descarga de Planta Tratadora de RA	11	4.8	18.2	2080	--	1030	18.4
Bocatoma de Hierba Buena	18	--	21.2	2100	12.51	1010	22.0
Bocatoma de Zertuche	22	5.4	21.0	2320	12.82	1160	
Bocatoma del Ejido Higo	23	7.1	19.7	2320	11.95	1170	20
Puente Ariosto Ejido Higo	28	7.8	12.5	2170	--	1080	12.3
Ejido Higo	33	6.1	12.9	2300	--	1150	13.7
Bocatoma Mesillas Oriente	37	7.8	18.2	2270	10.97	1130	19.1
Bocatoma Mesillas Poniente	38	9.7	19.5	2160	10.73	1080	
Nacimiento Mesillas	42	--	20.1	2770	1.72	1390	21.1
Nacimiento San Rafael	51	--	22.5	2880	1.56	1440	23.3
Bocatoma de San Francisco Paredón	57	9.1	17.7	2950	1.23	1500	
Bocatoma de Paredón	57	8.3	18.4	3400	3.94	1700	18.7

Tabla 4.5. Calidad del agua de los canales de riego de los cinco ejidos que usan agua del arroyo La Encantada

Punto de muestreo	Distancia (km)	pH	DQO (mg L ⁻¹)	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	Coliformes Tot (UFC 100mL ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)
Pequeños propietarios de Ramos Arizpe	0	8.12	43.4			83.33
Bocatoma de Mesón del Norte	10	8.09	217	39.15	400,167	83.33
Descarga de Planta Tratadora de RA	11	8.16	199.6	18.85	347,167	66.67
Bocatoma de Hierba Buena	18	8.52	147.5		250,167	40
Bocatoma de Zertuche	22	8.61				
Bocatoma del Ejido Higo	23	8.93	164.9		185,833	81.67
Puente Ariosto Ejido Higo	28	8.57				220
Ejido Higo	33	8.47	269		373,333	428.33
Bocatoma Mesillas Oriente	37	8.79			46,000	76.67
Bocatoma Mesillas Poniente	38	8.74	95.5	49.3		
Nacimiento Mesillas	42	8.80	60.7	26.1	--	93.33
Nacimiento San Rafael	51	8.44	234.3		--	30
Bocatoma de San Francisco Paredón	57	8.49				50.17
Bocatoma de Paredón	57	8.33	173.6		--	15

A partir del análisis de los datos asentados en las Tablas 4.3 a la 4.5 se pueden establecer las siguientes conclusiones referentes a la calidad del agua que corre por el cauce del arroyo La Encantada:

- i.* La conductividad eléctrica y los SDT aumentan a medida que se desplaza el agua desde la descarga de la PTARM-Principal de Saltillo, hasta su desembocadura en el arroyo Patos.
- ii.* El pH y la temperatura presentan patrones irregulares.
- iii.* El patrón de DQO es irregular, por lo que no se puede hacer ninguna observación al respecto.
- iv.* El patrón del parámetro sólidos suspendidos totales es, también, irregular; sin embargo es importante resaltar que el valor correspondiente al punto de muestreo del Ejido Higo sobrepasa el límite de la NOM-001-SEMARNAT-1996 establecido para riego agrícola.
- v.* Aunque la concentración de coliformes totales es varios órdenes de magnitud inferior al de agua negra cruda, los valores son muy superiores a los requeridos para reúso (NOM-003-SEMARNAT-1997) cuando el agua está en contacto con el público (240 NMP 100mL⁻¹) o no lo está (1000 NMP 100mL⁻¹). Sólo las muestras tomadas en la toma San Juan de Dios, en el ejido Mesillas y aguas abajo de éste tienen valores de coliformes dentro de los requerimientos de la NOM-003.

4.6. Valor ecológico del Arroyo La Encantada

La cuenca del arroyo La Encantada es actualmente asiento de una población de más de 800,000 habitantes. La necesidad de recuperar su calidad ambiental como un bien público que pertenece a esta población, es un aspecto que se ha mencionado poco, pero que resulta muy relevante.

Como lo demuestran las fotos de la Figura 4.11, el arroyo La Encantada contiene en sus márgenes paisajes que merecen restaurarse y preservarse para el bienestar de las generaciones actuales y futuras y de los animales que habitan en su cauce. Puede observarse en la fotografía en el extremo superior izquierdo una caída de agua en el arroyo Cárdenas, aguas debajo de la PTARM-Principal, le sigue una toma en la zona urbana de Ramos Arizpe pasando por debajo del camino a los Pinos; la escena posterior corresponde a un punto de arroyo a la altura del Mesón del Norte. En el extremo

inferior izquierdo y central son imágenes tomadas a la altura del Ejido Zertuche y, finalmente, la foto del extremo inferior derecho corresponde a una zona entre los ejidos Higo y Mesillas.



Figura 4.11. Escenas de diversos puntos del arroyo La Encantada

El arroyo La Encantada tiene un valor ecológico muy importante para los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe, debido a que a lo largo de su cauce resguarda una gran variedad de flora y fauna.

4.6.1. 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 la Tabla 4.6 y algunos ejemplos se pueden observar en las fotografías de la Figura 4.12. Estos árboles aprovechan la humedad del suelo en las márgenes del arroyo.

Tabla 4.6. Especies arbóreas presentes en el arroyo La Encantada

Nombre común	Nombre científico
Mezquite	<i>Prosopis sp. (glandulosa, laevigata, etc.)</i>
Olmo	<i>Ulmus americana</i>
Pirul	<i>Schinus molle</i>
Sauce	<i>Salis 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>



Figura 4.12. Imágenes de algunos árboles encontrados a la orilla del arroyo La Encantada (Fotos tomadas por Daniel Garza Tobón)

En las márgenes de La Encantada se encuentran también diferentes tipos de arbustos que son característicos de hábitats acuáticos y que no crecen en el resto de los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe, a no ser en circunstancias muy especiales. Entre las especies semi-acuáticas que se detectaron a lo largo del arroyo, los carrizos son los más abundantes. El tamaño de estas plantas en la parte media del arroyo (en la zona urbana de Ramos Arizpe) es impresionante, algunos sobrepasan los 10 metros de altura (Figura 4.13). Este gran crecimiento posiblemente se debió a la gran cantidad de materia orgánica que contenía el agua del arroyo entre los años setentas y la construcción de la Planta Tratadora Principal de Saltillo.



Figura 4.13. Carrizales en los márgenes del arroyo La Encantada (Fotos tomadas por Daniel Garza Tobón)

Por otra parte, también se ha observado la presencia de otros arbustos pastizales y forrajes en los márgenes del Arroyo. En la Tabla 4.7 se presenta una relación de las especies de arbustos y pastizales que pueden observarse en la orilla del arroyo. Así mismo, en la Figura 4.14 se presentan ejemplos de la variedad de la flora en esta región.

Tabla 4.7. Arbustos, pastizales y forrajes encontrados en las márgenes del arroyo La Encantada

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Avena Silvestre	<i>Avena fava</i>	Maravilla	<i>Mirabilis jalapa</i>
Cabeza de Toro	<i>Tribulus terrestris</i>	Palocotillo	<i>Heliantus laciniatus</i>
Calabacilla Loca	<i>Curcubita foetidissima</i>	Pegajosa Rodadora Salsola	<i>Setaria adhaerens</i>
Cuetillo	<i>Diploaxis muralis</i>	Tabaquillo	<i>Nicotiana glauca</i>
Escobilla	<i>Xanthocephalum sarothrae</i>	Trompillo	<i>Solanum abrojo</i>
Girasol	<i>Heliantus annus</i>	Zacate Barbón	<i>Polypogon elongatus</i>
Gualda	<i>Reseda luteola</i>	Zacate Casamiento	<i>Eragrostis mexicana</i>
Hierba Amargosa	<i>Parthenium Hysterophorus</i>	Zacate de Agua	<i>Agrostis semiverticillata</i>
Hierba de Humedad	<i>Polygonum pensylvanicum</i>	Zacate Johnston	<i>Sorghum helepense</i>
Higuerilla	<i>Ricinus communis</i> L.	Zacate Pata de Gallo	<i>Cynodon dactylon</i>
Jarilla	<i>Adesmia balsamica</i>	Zacate Pinto	<i>Echinochloa crusgalli</i>
Lengua de Vaca	<i>Rumex crispus</i>	Zacate Rhodes	<i>Chloris gayana</i>
Lentejilla	<i>Lepidium virginicum</i>	Zacate Salvación	<i>Dromus unioides</i>



Figura 4.14. Ejemplos de arbustos presentes en la orilla del arroyo La Encantada (Fotos tomadas por Daniel Garza Tobón)

4.6.2. Fauna

De manera análoga 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 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 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*.

La Tabla 4.8 presenta una lista de mamíferos comunes en las márgenes de La Encantada y las fotos de la Figura 4.15, algunos de los animales que pueden encontrarse en la zona.

Tabla 4.8. Mamíferos que habitan las márgenes del arroyo La Encantada

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Ardilla de tierra	<i>Sperophilus mexicanus</i>	Rata canguro	<i>Dypodomis menicumi</i>
Ardillón	<i>Sperophilus variegatus</i>	Rata canguro de Merriam	<i>Dypodomis merriami</i>
Cacomixtle	<i>Bassaris astuta</i>	Rata de madriguera	<i>Neotoma mexicana</i>
Comadreja	<i>Mustela frenata frenata</i>	Tlacuache	<i>Didelphis virginiana</i>
Conejo cola de algodón	<i>Sylvilagus floridanus</i>	Zorra gris	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>
Conejo del desierto	<i>Sylvilagus audobonii minor</i>	Zorrillo listado	<i>Mephitis macroura</i>
Coyote	<i>Canis latrans</i>	Tlacuache	<i>Didelphis virginiana</i>
Gato montés	<i>Lynx rufus texensis</i>	Zorra gris	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>
Liebre de cola negra	<i>Lepus californicus</i>	Zorrillo	<i>Conepatus mesoleucus</i>
Mapache	<i>Procyon lotor</i>	Zorrillo X	<i>Mephitis macroura milleri</i>
Ratón de campo	<i>Peromiscus sp.</i>		



Figura 4.15. Algunos mamíferos que habitan en las márgenes del arroyo La Encantada (Fotos tomadas por Daniel Garza Tobón)

Por otro lado, en las márgenes del arroyo es notoria la presencia de aves, muchas de ellas canoras, las cuales son atraídas por la vegetación y por la presencia de insectos, que constituyen su alimento.

La avifauna del área no ha sido estudiada, aunque existen reportes de colectas en lugares cercanos, como la presa El Tulillo. La avifauna ha disminuido bastante en los últimos años, especialmente por la destrucción del hábitat.

Una lista de las especies encontradas en recorridos efectuados por La Encantada en julio de 2013 se presenta en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Aves observadas en las márgenes del arroyo La Encantada

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Semiacuáticas		Otras	
Garza ganadera o garrapatera	<i>Bubulcus ibis</i>	Paloma de alas blancas	<i>Zenaidura asiatica</i>
Tildillo	<i>Charadrius vociferus</i>	Paloma huilota	<i>Zenaida macroura</i>
Garzón cenizo	<i>Area herodias</i>	Codorniz escamosa	<i>Callipepla squamata</i>
Playerito mínimo	<i>Calidris minutilla</i>	Cernícalo	<i>Falco sparverius</i>
Playerito alzacolita	<i>Actitis macularia</i>	Halcón cola roja	<i>Buteo jamaicensis</i>
Avoceta picocurvo	<i>Recurvirostra americana</i>	Aguililla	<i>Buteo jamaicensis</i>
Candelerero mexicano	<i>Himantopus mexicanus</i>	Aguililla rojinegra	<i>Parabuteo unicinctus</i>
Canoras		Zopilotes (Aura X)	<i>Cathartes aura</i>
Colibrí de garganta negra	<i>Archiluchus alexandri</i>	Tecolote cornudo	<i>Bubo virginianus</i>
Gorrión	<i>Carpodacus mexicanus</i>	Paloma de collar	<i>Columbo fasciata</i>
Dominico	<i>Carduelis psaltria</i>	Guacamaya enana	<i>Rhynchopsitta terrisi</i>
Cenzontle	<i>Mimus polyglottus</i>	Gavilán	<i>Falco sparverius</i>

Adicionalmente, se ha observado la visita de aves migratorias en los meses previos al invierno o en la primavera.

Al respecto de los batracios y reptiles, aún pueden encontrarse algunas variedades de sapos (*Bufo valiceps*, *Bufo cognatus*, *Bufo woodhouse*, *Spea punctata*, *Scaphiopus couchii*); y también se han observado lagartijas, tortugas y diferentes tipos de serpientes.

Finalmente, a lo largo del arroyo es posible observar una gran variedad de insectos, entre ellos mariposas de diferentes colores y tamaños, libélulas, escarabajos (catarinas, mayates, pinacates), etc.

4.6.3. Recarga de acuíferos

Un aspecto importante en el valor ecológico del arroyo La Encantada es su participación en la recarga de los acuíferos de la región. Así, parte del caudal que conduce el arroyo se infiltra al subsuelo contribuyendo a recargar los acuíferos Cañón del Derramadero en Saltillo, Saltillo-Ramos Arizpe en los dos municipios y Paredón en el norte de Ramos Arizpe. Estudios hidrogeológicos realizados en el área (Miller, 1990) y la apreciación de los agricultores que tienen pozos en la zona de influencia de La Encantada confirman esta aseveración.

4.7. Aspectos Socio-económicos

Los agricultores de Saltillo y Ramos Arizpe han regado sus parcelas con agua del arroyo La Encantada durante muchos años. La calidad del agua era buena y los cultivos abundantes, pero la descarga de aguas negras a fines de la década de los sesentas dio lugar a que CONAGUA prohibiera cultivar verduras con el agua contaminada del arroyo. Al entrar en operación las PTARMs de las dos ciudades, en los años 2008-2009, la calidad del agua mejoró, pero la contaminación persiste, debido a que un porcentaje importante de aguas residuales no recibe todavía tratamiento, y la prohibición de cultivar verduras también.

Para la población de Ramos Arizpe, La Encantada tiene muchos aspectos socio-económicos y ambientales. Entre ellos destacan: a) conservar las fuentes de trabajo de muchos agricultores, tanto del área urbana como de los ejidos localizados al norte de Ramos Arizpe, para los cuales el agua del arroyo es la base de su economía; y b) conservar y mejorar el área adyacente al cauce de La Encantada, que durante muchos años fue el centro de la recreación de los ramosarizpenses.

Los usuarios agrícolas del agua del arroyo La Encantada consideran que la reducción de los volúmenes que usan actualmente para riego de sus parcelas podría tener un efecto catastrófico sobre ellos y sus familias. Muchos de los campesinos tendrían dificultad para encontrar otras fuentes de trabajo, además de que el valor de los terrenos agrícolas sin agua disminuiría drásticamente.

5. Reúso actual de las aguas residuales municipales tratadas

5.1. Introducción

En un sistema ideal, el uso urbano de aguas residuales municipales tratadas incluye entre muchos otros:

- Riego de parques públicos y centros de recreación, campos deportivos, áreas verdes de escuelas y campos de juego, medianas y áreas laterales de carreteras, y jardines alrededor de edificios públicos
- Riego de áreas verdes que rodean residencias unifamiliares y multifamiliares,
- Lavado general y otras actividades de mantenimiento en hogares
- Riego de áreas verdes que rodean oficinas, comercios y desarrollos industriales
- Riego de campos de golf
- Usos comerciales, por ejemplo lavado de vehículos, servicios de lavandería, lavado de ventanas, y agua de mezcla para pesticidas, herbicidas y fertilizantes
- Paisajismo ornamental y elementos decorativos con agua, tales como fuentes, espejos de agua y cascadas
- Control de polvos y producción de concreto para proyectos de construcción
- Protección contra incendios (hidrantes con agua recuperada)
- Sanitarios y mingitorios en edificios comerciales e industriales.

Los sistemas de reúso pueden abastecer a industrias o complejos industriales con grandes requerimientos de agua, así como a propiedades residenciales, industriales y comerciales, a través de “sistemas de distribución dual”.

Proporcionar un suministro no interrumpible de agua recuperada implica un aumento de costos, por ejemplo en tanques de almacenamiento de agua recuperada, o equipo adicional. La instalación de un sistema de distribución de agua recuperada en fraccionamientos existentes también puede tener un costo alto. Sin embargo, los beneficios de conservación de agua potable pueden justificar los costos. Por ejemplo, un sistema de reúso de agua puede ser rentable si elimina o previene la necesidad de:

- Obtener un suministro adicional de agua de primer uso desde distancias considerables
- Dar tratamiento a una fuente de suministro de agua de primer uso de baja calidad
- Dar tratamiento adicional a las aguas residuales para cumplir con requerimientos estrictos de descarga.

En este capítulo se presenta un panorama actual del reúso de las aguas residuales municipales tratadas en las tres plantas existentes en la región abordándose desde tres aspectos: el reúso urbano, agrícola e industrial.

5.2. Reúso Urbano

El alcance de este estudio se concreta al uso de aguas residuales municipales tratadas para riego de áreas verdes públicas en Saltillo y Ramos Arizpe. Cabe remarcar que de acuerdo con los estándares de la Organización Mundial de la Salud, tanto para Saltillo como para Ramos Arizpe, la superficie dedicada a áreas verdes es insuficiente para la población existente, ya que la OMS establece una cota óptima y mínima de 15 y 10 m² de área verde por habitante, respectivamente. Adicionalmente, el riego de dichas áreas es escaso o nulo en la mayor parte, por lo que la vegetación se encuentra generalmente en malas condiciones.

De acuerdo a información proporcionada por el Municipio de Saltillo, en la ciudad se cuenta con alrededor de 415 áreas verdes distribuidas entre plazas, parques, jardineras, andadores y camellones de avenidas. La información obtenida no proporciona datos de la superficie de las áreas verdes públicas, sin embargo, de una estimación se obtuvo que éstas cubren una extensión aproximada de 200 hectáreas. Por otra parte, en el caso de Ramos Arizpe, se tiene registro de 92 áreas verdes que abarcan un total de aproximadamente 29 hectáreas.

Si bien ambas ciudades no alcanzan a cubrir la meta establecida por la OMS, ya que sólo tienen 2.8 y 3.9 m² de área verde por habitante, es importante mencionar que para mantener las áreas actualmente existentes se requiere de cantidades importantes de agua, que pueden ser proporcionadas por agua residual municipal tratada.

En la actualidad la vegetación de la mayor parte de los espacios verdes de Saltillo y Ramos Arizpe se encuentra en malas condiciones por falta de riego. A partir de 2006, Aguas de Saltillo, con el respaldo de las autoridades municipales, tomó la decisión de dejar sin riego las plazas y jardines públicos en las que los vecinos no se organizaran para pagar a la empresa el pago correspondiente al agua utilizada en forma mensual para riego. Inicialmente hubo más de cien colonias en las que se contó con la cooperación de los vecinos para este efecto, pero el número de áreas verdes públicas en las que se sigue dando tal cooperación ha ido disminuyendo con el tiempo. Un periódico local informó en 2011 que: "...De las 565 plazas que hay en la ciudad, sólo 33 cuentan con el respaldo de los colonos para pagar su riego...". Esto ha dado lugar a la falta de irrigación en casi todas las áreas verdes públicas de la ciudad, lo cual ha ocasionado la muerte del pasto, de árboles y arbustos.

El agua residual tratada es muy adecuada para esta aplicación, pero requiere de la instalación de nuevas redes de bombeo. Actualmente sólo se cuenta con dos líneas de conducción para esta agua en la PTARM-GBU, para el riego de alrededor de 50 hectáreas de áreas verdes.

En la Figura 5.1 se presenta el trazo de las líneas de conducción (líneas moradas) existentes para transferir agua residual tratada de la planta del Gran Bosque Urbano a las siguientes áreas verdes de la ciudad:

1. Ateneo Fuente
2. Camellones del Boulevard Francisco Coss (localizados entre los puntos 1 y 3)
3. Campus "Campo Redondo" de la Universidad Autónoma de Coahuila
4. Gran Bosque Urbano
5. Camellones del Paseo de la Reforma (Localizados entre los puntos 4 y 6)
6. Parque Ecológico La Aurora

La longitud total de las dos líneas moradas mostradas en la Figura 3.1 es 8.2 km. Otras áreas verdes municipales se riegan por medio de camiones-cisterna.

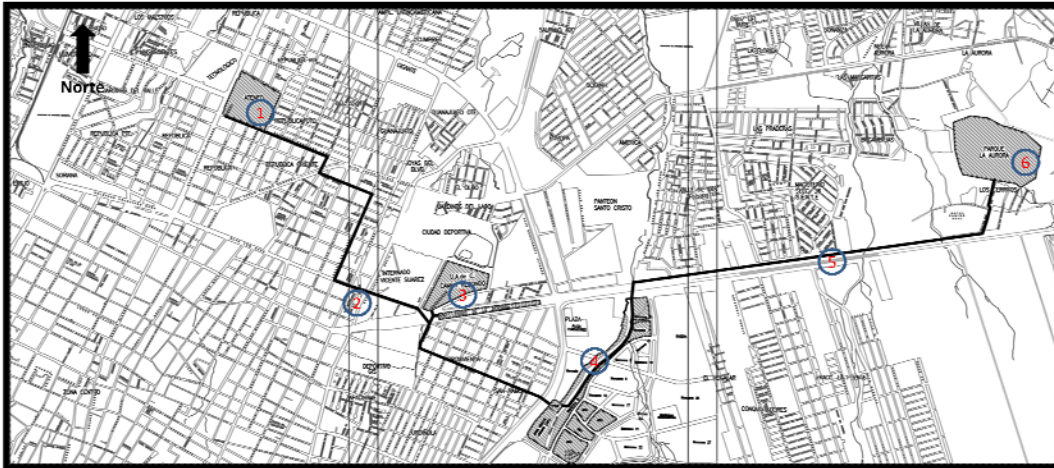


Figura 5.1. Plano de la línea de distribución de aguas tratadas para riego de áreas verdes urbanas en Saltillo

En la Figura 5.2 se puede observar que el volumen de agua residual tratada usada en el riego de áreas verdes ha ido aumentando constantemente desde la implantación de la planta tratadora. Es notable como durante el primer año y medio funcionamiento de la PTARM-GBU, los volúmenes promedio de agua tratada reusada fueron menores a los 1,200 litros por mes. Posteriormente, el volumen de agua tratada reusada aumenta perceptible y constantemente evidenciándose un mayor aprovechamiento de la misma a lo largo de la vida de la planta de PTARM-GBU.

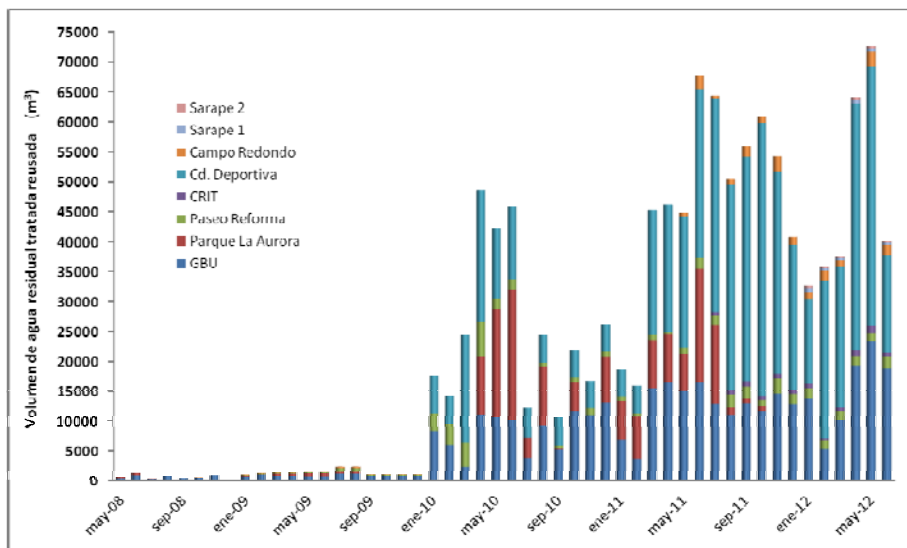


Figura 5.2. Volúmenes de agua residual tratada reusada en riego de áreas verdes en Saltillo

En el caso de Ramos Arizpe, no existe registro de que se reúsen las aguas residuales municipales tratadas para riego de áreas verdes. Por lo que gran parte de las plazas públicas de la ciudad se encuentran en malas condiciones, por falta de riego y de mantenimiento. El periódico local El Pionero de Ramos Arizpe ha denunciado esta situación en varias ocasiones.

Cabe mencionar que el Alcalde electo de Ramos Arizpe para el periodo 2014-2017, Lic. Ricardo Aguirre Gutiérrez, anunció durante su campaña para la Presidencia Municipal "...la creación de El Gran Bosque Urbano, una de las obras más importantes que tendrá el municipio...". En dicho anuncio señaló también que es importante generar un pulmón en Ramos Arizpe, porque llegan muchas empresas y fábricas, y aunque éstas son industrias muy comprometidas con el medio ambiente, no dejan de tener procesos que generan calor, contaminación o que afectan al cambio climático, por lo que reiteró que con la instalación del Gran Bosque Urbano se generará un gran pulmón para Ramos Arizpe y así, la ciudad podrá contar con una importante área de recreo para sus habitantes.

No se indican en las declaraciones del Lic. Aguirre los metros cuadrados que tendría el Gran Bosque Urbano, pero la distancia entre el Puente Los Pinos y el Puente Rojo que está al frente de la Colonia Analco es de 4.5 km aproximadamente (Figura 5.3). Considerando un ancho medio de 50 metros en cada uno de los márgenes del arroyo, resultaría un área de unas 40-50 hectáreas, las cuales requerirían aproximadamente 50 Lps para ser regadas.



Figura 5.3. Sección del arroyo La Encantada en la que se propone construir un Gran Bosque Urbano

5.3. Reúso agrícola

Antes de la construcción de las PTARM de Saltillo y Ramos Arizpe (Capítulo 3), prácticamente todas las aguas residuales de las dos ciudades se descargaban al arroyo La Encantada, en forma directa, o a través de los afluentes del mismo. La principal aplicación que se le daba a estas aguas, y que sigue siendo predominante, es el riego de parcelas agrícolas que se encuentran en los ejidos aledaños al cauce del arroyo La Encantada.

Si bien, no existe un registro de que las aguas residuales municipales tratadas provenientes de las PTARM, sean usadas sistemáticamente para el riego agrícola, es un hecho que las descargas de agua tratada de las plantas, van directamente al arroyo. De manera que el uso actual en riego agrícola de las ARMT sigue siendo aquel dedicado a proveer de agua ejidos y predios localizados en las vecindades del arroyo.

En Saltillo, durante muchos años las aguas residuales de la ciudad se usaron para riego en varios predios agrícolas localizados al norte de la ciudad, tales como: Rancho de Peña, Doctores, San Agustín, Valle Real, San Isidro, Los Lagos, entre otras.

Todavía es posible encontrar huertas de nogales e higueras y milpas en las márgenes de La Encantada en la zona urbana de Saltillo, pero el reuso agrícola actual es muy reducido en esta ciudad (Figura 5.4).



Figura 5.4. Maíz cultivado con agua del arroyo del Pueblo frente a la colonia Asturias en Saltillo

En Ramos Arizpe, el reuso del agua del arroyo La Encantada para riego agrícola ha sido muy importante al norte de la ciudad, en donde se han regado durante varias décadas alrededor de 1000 Has en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno. En la zona urbana, pequeños propietarios riegan 250-300 Ha con agua de La Encantada. El empleo de esta agua ha sido especialmente importante en épocas de sequía, ya que permite que la actividad agropecuaria continúe en las márgenes del arroyo, aunque en otras zonas del municipio no puedan cosechar los cultivos de temporal.

A lo largo del cauce del arroyo La Encantada, al norte del municipio de Ramos Arizpe, se asientan siete ejidos cuyas principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería (Figura 5.5).

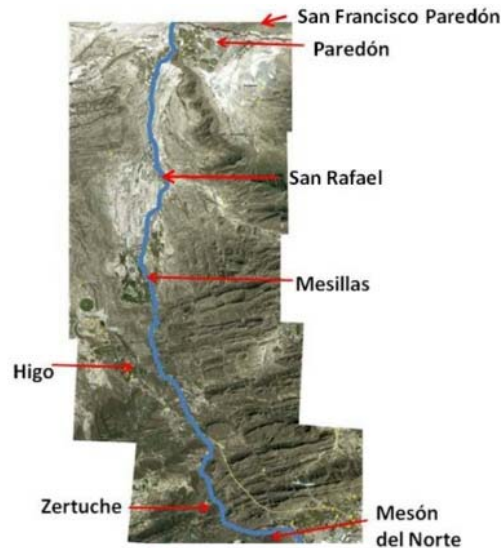


Figura 5.5. Localización de los ejidos ubicados en las márgenes del arroyo La Encantada en Ramos Arizpe

Como puede observarse en la figura, el ejido más alejado de la cabecera municipal de Ramos Arizpe es San Francisco Paredón, que se encuentra a 90 km de ésta, aproximadamente. Los accesos a los ejidos Mesón del Norte, Zertuche, Higo, Paredón y San Francisco Paredón están pavimentados, no así los de Mesillas y San Rafael, a los que hay que llegar por camino de terracería.

En la Tabla 5.1 se presenta información relativa a las dotaciones de tierras y aguas de los siete ejidos. Como lo indica la tabla, el ejido más antiguo de la zona es Paredón, que casi alcanza ochenta años desde su creación. El más nuevo es Mesón del Norte, que se estableció cerca de ocho años después.

Tabla 5.1. Datos relevantes de los ejidos ubicados a las márgenes del arroyo La Encantada

Ejido	Fecha de dotación de tierras	Superficie total dotada al ejido (Ha)	Fecha de dotación de agua	Dotación de agua
Mesón del Norte	1941	3,013	1943: Torrenciales 1985: Mansas	80 Lps del manantial Santa María del arroyo Patos (2522880 m ³ /año, 24 h/d, 365 d/año) para regar 210 Has
Zertuche	--	4,592 + 6.8	Aguas broncas del arroyo Palos Amarillos	23.2 Lps (730800 m ³ /año)
Higo	1938	3,430	1949: Torrenciales	76.1 Lps del manantial Santa María del arroyo Patos (2400000 m ³ /año, 24 h/d, 365 d/año) para regar 480 Has
Mesillas	1936	3,591	1955: Aguas broncas del arroyo La Encantada	121.8 Lps (3840000 m ³ /año,
San Rafael	1940	1,380; 360 agrícolas	Noria para uso doméstico	
Paredón	1933 (Dotación del ejido) 1943 (Ampliación)	1,107	1951: Aguas broncas del arroyo La Encantada	70.9 Lps promedio en un año. 182.6 Lps promedio en 4 meses (1920000 m ³ /año) para regar 192 Has.
San Francisco Paredón	1949	456 agrícolas 1,972 de agostadero	1951: Aguas broncas del arroyo La Encantada	

Las dotaciones de agua se hicieron varios años después de la creación de los ejidos respectivos. Todos los ejidos recibieron una dotación de aguas broncas o torrenciales (las que lleva el arroyo en la época de lluvia); sólo el ejido Mesón del Norte recibió, además, una dotación de aguas mansas (las que lleva el arroyo en la época de estiaje).

Algunos de los ejidos disponen además de derechos de agua, inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), como se muestra en la Tabla 5.2. De los datos de esta tabla, se puede concluir que sólo el ejido Paredón dispone de un volumen de agua superficial relativamente grande ($1,125,000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1} = 35.7 \text{ Lps}$ en servicio continuo) para uso agrícola. Los demás o no tienen aguas superficiales registradas, o tienen volúmenes muy pequeños (329 a $5,475 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$); en estos casos el uso es pecuario.

Tabla 5.2. Títulos de los ejidos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA)

Ejido	Tipo de aguas	No. De registro	Uso	Volumen amparado por el título ($\text{m}^3/\text{año}$)
Mesón del Norte	--	No tiene	--	--
Zertuche	Subterráneas	06COA109278/24AMGE99	Agrícola	216,000
Higo	--	No tiene	--	--
Mesillas	Superficiales	06COA109265/24GHGE99	Pecuario	4,564
San Rafael	Superficiales	06COA109350/24GHGE99	Pecuario	1,825
	Subterráneas	02COA101558/24AMGR96	Agrícola	312,000
Paredón	Superficiales	06COA109374/24GHGE99	Pecuario	329
	Superficiales	06COA109266/24AHGE99	Agrícola	1,125,000
	Subterráneas	06COA113220/24AMGE03	Agrícola	240,000
San Francisco Paredón	Superficiales	06COA109349/24GHGE99	Pecuario	5,475

Fuente: <http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>

En todo caso, los ejidos han estado usando aguas mansas (en épocas de secas) del arroyo La Encantada desde hace 36 años en Mesón del Norte; o menos en otros ejidos. La economía de estas comunidades, basada en la agricultura y la ganadería ha llegado a depender en su totalidad, o en su mayor parte del agua del arroyo.

5.4. Reúso Industrial

En los contratos firmados entre las compañías operadoras y los municipios, no está definida la responsabilidad de la gestión para el reúso de agua residual tratada, con excepción del volumen producido en la PTARM del Gran Bosque Urbano de Saltillo que se ha destinado al riego de áreas verdes de la zona. Por esa razón, hasta la fecha se tiene un escaso aprovechamiento del agua residual tratada.

Debido a la ubicación de la PTARM Principal de Saltillo y la de Ramos Arizpe (Figura 5.6), se deduce que su aprovechamiento óptimo, al sector industrial, se puede dar a través de su distribución hacia áreas que se encuentren a una menor altitud a fin de aprovechar la caída por gravedad y así evitar la necesidad de bombeo.

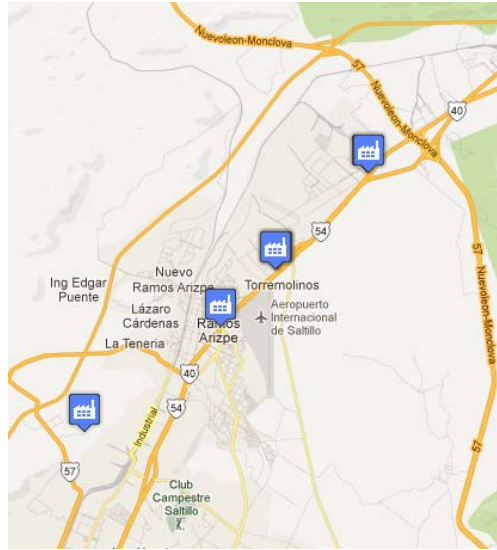


Figura 5.6. Ubicación de las PTARM Principal de Saltillo y Ramos Arizpe

La mayor concentración de industrias en la zona están agrupadas en Parques Industriales, excepto por unas cuantas empresas importantes que se encuentran fuera de los parques industriales.

En este sentido, en la zona se pueden identificar cinco Parques Industriales que pudieran ser considerados demandantes potenciales del las ARMT: Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Parque Industrial Amistad I y II, Parque Industrial Amistad Aeropuerto I, II y III, Parque Industrial Finsa Coahuila y Parque Industrial Santa María. En estos 5 parques industriales se concentran alrededor de 170 empresas.

La demanda de agua del sector industrial en la región es abastecida por tres tipos de fuentes: a) pozos propios, b) la red de agua potable municipal (Sistema de Agua y Saneamiento de Ramos Arizpe – SAPARA-) y c) por la compra de agua en pipas.

Si bien el número de empresa asentado en la región es de consideración, la mayoría desarrolla actividades y procesos de bajo o nulo consumo de agua. De manera que el principal consumo es de tipo doméstico, es decir, por uso en sanitarios, comedores y regaderas.

La PTARM Principal de Saltillo trata actualmente un flujo de ARM de aproximadamente 800 Lps, de los cuales se sabe que se tiene comprometido a futuro la venta de 10 Lps a la empresa DeAcero 8,9. Sin embargo, esto representa sólo el 1.25 % del agua tratada, por lo que es necesario establecer estrategias encaminadas a la promoción del agua tratada entre las empresas instaladas alrededor de las Planta Tratadoras de Agua Residual Municipal, a fin de hacer sustentable la operación de las PTARM y cuidar los mantos acuíferos disminuyendo la extracción de agua de pozo.

La primera planta tratadora de aguas residuales que se construyó en Saltillo tuvo por objeto producir agua de proceso para la empresa Zincamex, una fundición de zinc que operó durante más de 25 años (de 1964 a fines de los ochentas). Dicha planta tenía la capacidad de depurar 50 Lps, de un total de 500-700 Lps que entonces se producían en la ciudad.

Parte de las instalaciones de la PTARM de Zincamex estaban localizados en un terreno aledaño al hospital del Niño, donde se encontraban: a) la estructura de derivación del emisor principal, que

constaba de tres canales de concreto con compuertas; b) un tratamiento primario que comprendía un sistema de rejillas verticales y un desarenador; y c) un medidor Parshall.

En los terrenos de Zincamex, al norte de Saltillo, existe todavía una estructura cilíndrica de concreto (de 90 metros de diámetro y 1.5 metros de profundidad); con un clarificador (30 metros de diámetro y 5 metros de profundidad en la parte más baja) en el centro de la misma. En la parte exterior se llevaba a cabo el proceso de oxidación biológica de la materia orgánica, por lo que a esta parte del tanque se le denominaba “bioactivador”. El agua tratada se cloraba y se enviaba a un depósito elevado de 200 m³ de capacidad, localizado alrededor de la chimenea principal, a una altura de 40 metros. Del depósito se repartía el agua tratada a los diferentes usuarios: producción de ácido sulfúrico, sistema de enfriamiento del proceso de producción, para amasar los materiales refractarios y de alfarería y para enfriamiento de las lingoteras de zinc.

La PTAR de Zincamex dejó de operar debido al cierre de las instalaciones de la empresa, a finales de los ochentas del siglo pasado.

La segunda planta que se construyó en Saltillo para reúso industrial fue la de Agua Industrial del Norte (AINSA), propiedad del Grupo Industrial Saltillo (GIS), la cual utiliza un sistema de Reactor Secuencial por Etapas (SBR por sus siglas en inglés). Se diseñaron inicialmente dos módulos de 75 Lps de capacidad cada uno; pero sólo se construyó uno, cuyo flujo actual de influente es de 20 Lps.

Existen actualmente dos proyectos en evaluación para reúso industrial de las aguas tratadas en la PTARM-Principal: a) uno manejado por CEAS, que contempla la construcción de una “línea morada” a parques industriales y empresas importantes (Kimberly Clark y Cementos Apasco, principalmente) de Ramos Arizpe; y b) el segundo, para el suministro, durante 19 años, de 500 Lps de agua residuales municipales tratadas de la Planta Principal de Saltillo a las instalaciones de la empresa Peñasquito Goldcorp, localizadas en Mazapil, Zacatecas.

El primer proyecto se realizaría en dos etapas de 150-200 Lps cada una. La construcción y manejo de la “línea morada” la llevaría a cabo un consorcio público-privado, en el que el municipio de Saltillo y CEAS participarían como socios mayoritarios.

En el caso de Peñasquito, la empresa deberá invertir más de 2 mil millones de pesos para la construcción de la línea morada (Vanguardia, 2013); además pagaría al Municipio de Saltillo entre \$4 y \$6 por cada metro cúbico de agua residual que se trasvase. En noviembre de 2012 se firmó una carta de intención entre funcionarios del Municipio de Saltillo y de Goldcorp, para la compra venta del ARMT a Peñasquito. El 25 de mayo de 2013 se informó que ya se habían iniciado los trámites ante las dependencias federales como la CONAGUA, y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para la autorización del paso de la línea morada de 160 kilómetros desde la Planta Tratadora Principal de Saltillo hasta Mazapil, Zacatecas. Es importante señalar que el trasvase de un volumen tan importante como el que se está manejando en el caso de Peñasquito (500 Lps, del orden de 50% del total de aguas residuales producidas en Saltillo) hacia otra cuenca y otro estado podría a la larga ser contraproducente para Saltillo, ciudad cuyo suministro de agua proviene de acuíferos sobre-explotados, y para la cual el agua tratada representa un recurso muy importante, ya que hay muchas aplicaciones (industrial, riego urbano y riego agrícola) para este tipo de agua en la región.

Ninguna empresa de Ramos Arizpe ha construido su propia planta de tratamiento de aguas negras municipales con fines de reúso. Sin embargo, actualmente dos plantas de la empresa DeAcero utilizan aguas residuales tratadas de: a) la PTARM-Principal de Saltillo (DeAcero Alambres); y b) la de Ramos Arizpe (DeAcero del Norte). Las dos plantas de DeAcero están ubicadas cerca de las instalaciones de las plantas tratadoras respectivas. La primera usa actualmente del orden de 20-25 Lps de agua tratada para varios procesos industriales. La planta de DeAcero del Norte, que tiene prevista su inauguración para finales de 2013, planea reusar 40 Lps.

6. Factibilidad Técnica-Económica de reúso de aguas residuales municipales tratadas

6.1. Introducción

En este capítulo se presenta la factibilidad técnica-económica de tres alternativas para el reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT), presentando además los efectos económicos, ambientales y sociales que se pudieran derivar de estos usos. Las diferentes alternativas de uso se han generado a partir de datos de la demanda de agua residual tratada (ART) identificada en diversos estudios realizados dentro del marco del proyecto “Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga” (FOMIX COAH-2010-C14-149646). También se considera el volumen de agua residual generada por la población, el recolectado por las redes de drenaje y la capacidad de tratamiento de la Plantas Tratadora de Aguas Residuales (PTAR). Se presentan también, costos preliminares de infraestructura, equipamiento y de operación para las 3 alternativas de reutilización, así como los beneficios económicos, sociales y ambientales de éstas.

Con todo esto se busca evaluar la factibilidad técnico-económica de la reutilización del ARMT de las PTAR de los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe en tres diferentes alternativas de aplicación (industrial, agrícola y urbano), mediante la combinación de los posibles volúmenes de uso de acuerdo a la demanda actual, las posibles demandas futuras en cada área y el análisis de los costos y los beneficios económicos, sociales y ambientales.

6.2. Alcances del análisis de factibilidad

El alcance de este estudio se limitado a:

- 1) La estimación de los costos de construcción de infraestructura, costo de equipos y operación del sistema de reúso, y la cuantificación de los beneficios económicos derivados de la reutilización del agua tratada, como son los ingresos por la venta de agua tratada.
- 2) La cuantificación de los beneficios económicos y sociales por la optimización del uso del agua residual en la agricultura y la ganadería, en la zona de influencia del Arroyo La Encantada.
- 3) La cuantificación de los beneficios ambientales y de la disminución de la extracción de agua de pozo, por la reutilización del ARMT en la zona industrial de Ramos Arizpe.
- 4) La cuantificación de los beneficios ambientales, por la reforestación y ampliación de las áreas verdes mediante el aprovechamiento de las ARMT de los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe.

6.3. Metodología

La metodología se basó en la determinación de las cantidades de agua residual susceptible a ser reutilizada en 3 diferentes aplicaciones: agrícola, industrial y uso urbano (riego de áreas verdes). Así mismo se hizo especial énfasis en mantener el equilibrio entre el volumen y la calidad de las ARMT ofertada por las diferentes PTARM en sus respectivas ubicaciones y los volúmenes y la calidad demandada.

En primera instancia, se determinó la oferta de agua residual tratada por las PTARM de Saltillo y Ramos Arizpe con base a la información descrita en el capítulo 3. Para la determinación de la

demanda se consideraron tres tipos de aplicaciones potenciales: uso agropecuario, uso industrial y uso urbano.

Para los primeros dos usos se levantaron encuestas a los posibles usuarios, agricultores e industriales, y para el tercer uso se cuantificaron las áreas verdes existentes en las zonas urbanas de Saltillo y Ramos Arizpe para determinar los volúmenes de agua requerida.

6.4. Evaluación técnica-económica del reúso de las ARMT de las PTAR de Saltillo y Ramos Arizpe

6.4.1. Oferta del agua residual tratada

La generación de agua residual municipal, definiendo ésta, como toda el agua captada por la red municipal de drenaje, que recolecta el agua residual de viviendas, comercios, instituciones e industrias (calculada en base a una dotación de 180 L por habitante por día y a una generación de aguas residuales igual a 85% de la dotación) es de 1,257 Lps para la ciudad de Saltillo y 118 Lps para la ciudad de Ramos Arizpe. Debido, por un lado a la falta de cobertura; y por otro lado a la existencia de redes no conectadas a las plantas de tratamiento, solamente llegan a ser tratadas aproximadamente 890 Lps, que representan sólo un 65% de las aguas residuales generadas (Tabla 6.1). El resto del agua residual (483 Lps) se descarga a los arroyos sin tratar.

Tabla 6.1. Generación de aguas residuales en Saltillo y Ramos Arizpe

	Saltillo	Ramos Arizpe	Total
Habitantes (en la zona de cobertura)	709,670	66,550	776,220
Dotación (L habitante ⁻¹ día ⁻¹)	180	180	
Aguas residuales generadas (85% de la dotación) (Lps)	1,257	118	1,375
Volumen a tratamiento (Lps)	788	104	892
Agua residual tratada/ Agua residual generada (%)	62.7	88.1	

La dotación de 180 L por habitante por día, corresponde a la división del volumen extraído (52.5 millones de m³/año) entre el número de habitantes en la ciudad (725123 + 75461)

La Tabla 6.2 muestra el volumen de agua residual generado, la capacidad de diseño de las PTARM de Saltillo y Ramos Arizpe, así como el volumen de aguas residuales que actualmente se trata.

Tabla 6.2. Capacidad de las PTARM de Saltillo y Ramos Arizpe

PTARM	Principal	Gran Bosque Urbano	Ramos Arizpe
Capacidad de diseño (Lps)	1,200	70	140
Volumen tratado (Lps)	741	46.8	104
Operación (%)	61.8	66.8	74.2

Adicionalmente, existen otras 2 pequeñas plantas que toman agua residual de la red municipal para tratarla y reutilizarla en sus instalaciones: una de ellas es AINSA con 20 Lps, que toma del colector poniente para reutilizarla en los procesos de las industrias ubicadas en avenida Isidro López Zertuche.

La otra planta pertenece al Club Campestre Saltillo, que toma y trata 30 Lps del colector Cerritos para el riego de áreas verdes.

El servicio de distribución de agua potable, así como la red drenaje para Saltillo y Ramos Arizpe cubren prácticamente el 100% de las áreas urbanas. Sin embargo, no toda el agua residual generada llega a las plantas de tratamiento.

Para incrementar la oferta de agua residual tratada, se requiere conducir el total de las aguas residuales a las plantas de tratamiento, completando los emisores y evitando la extracción de agua sin tratamiento. Con estas acciones se cubriría el 100% de la capacidad de las PTAR de Saltillo y se podría llevar a la PTAR de Ramos Arizpe a cerca del 90 % de su capacidad. La capacidad de tratamiento de aguas residuales deberá ampliarse conforme el incremento de la población.

En el futuro, si el objetivo es la reutilización del agua residual tratada, deberán proyectarse en función de las demandas de reutilización, el tipo de tratamiento, la calidad de agua residual tratada y la ubicación de las PTAR.

6.4.2. Calidad del agua residual tratada con posibilidad de reúso

La calidad de agua residual tratada tiene varias aplicaciones dependiendo de la calidad de agua que se tiene a la entrada de la planta y del tratamiento específico que se le dé (Tabla 6.3). Para las plantas de Saltillo y Ramos Arizpe la diferencia más notable en la calidad del agua a la entrada de las plantas, es el parámetro sólidos disueltos totales (SDT) medido como conductividad, el cual muestra valores superiores ($2,250 \mu\text{mhos cm}^{-1}$) en la PTAR de Ramos Arizpe y menores en la PTAR del Gran Bosque Urbano ($1,366 \mu\text{mhos cm}^{-1}$) y Principal de Saltillo ($1,724 \mu\text{mhos cm}^{-1}$). Puesto que este parámetro prácticamente no es afectado durante el tratamiento, esta diferencia se refleja en la calidad del agua tratada, que es de 2,280, 1,366 y $1,848 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ para las PTARM de Ramos Arizpe, Gran Bosque Urbano y Principal de Saltillo, respectivamente.

Tabla 6.3. Calidad del AR a la entrada de las PTAR Principal de Saltillo, Ramos Arizpe y GBU

PTARM	Conductividad ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	Coliformes fecales (NMP 100mL^{-1})	DBO ₅ (mg L^{-1})	SDT (mg L^{-1})
Gran Bosque Urbano	1,366	<240	6	4
Principal de Saltillo	1,724	500	30	19
Ramos Arizpe	2,250	200	10	8

Aunque el contenido de sales no impide su reutilización, un alto contenido disminuye la eficiencia de reutilización en cualquier uso o proceso. Por lo tanto, las plantas del Gran Bosque Urbano y Principal de Saltillo, tienen ventaja en este parámetro sobre la PTAR de Ramos Arizpe. La modificación de este parámetro, le corresponde al usuario final para un mejor aprovechamiento.

Otro aspecto importante en la calidad del agua tratada, es la contaminación por patógenos referida como coliformes fecales. Este parámetro debe cumplir con un valor de ($240 \text{NMP } 100\text{mL}^{-1}$) para ser utilizada en el riego de áreas verdes de uso público. Solamente la PTAR del Gran Bosque Urbano cumple este requisito. Las otras plantas con algunas adecuaciones podrían cumplirlo.

Para el uso en riego agrícola, las tres PTARM cubren el requisito de coliformes fecales (1000 NMP 100mL⁻¹). Actualmente los efluentes de las PTAR Principal de Saltillo y la de Ramos Arizpe se mezclan en el cauce del Arroyo la Encantada con agua residual sin tratamiento, por lo que la calidad del agua que fluye en este arroyo aguas abajo podría superar el límite. Este parámetro no tiene valores específicos de restricción en la reutilización en los procesos industriales, que generalmente son para enfriamiento, pero por seguridad sanitaria es deseable un valor mínimo.

El nitrógeno, fósforo y potasio, son elementos que son nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y se encuentran en las aguas residuales tratadas. Su presencia, revaloriza el agua para su reutilización en riego agrícola y de áreas verdes urbanas. Los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio que se encuentran en las aguas tratadas de las PTARM de Saltillo y de Ramos Arizpe no presentan problemas para la reutilización en procesos industriales.

El parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente de las plantas del Gran Bosque Urbano y de Ramos Arizpe, cumple con los requerimientos para cualquiera de los tres usos. El valor de SST en la planta Principal de Saltillo (19 mg L⁻¹), presenta desventajas para su uso en la industria, por lo que esta planta cuenta con un tratamiento terciario que consiste en la floculación y la filtración con los que se pueden tratar hasta 50 Lps y disminuir los SST hasta 10 mg L⁻¹. Actualmente este tratamiento sólo se aplica a 20 Lps, cantidad que actualmente se vende a la industria.

6.4.3. Demanda del agua residual tratada

La escasa disponibilidad de agua para la industria, uso agrícola, consumo y uso humano es evidente, así como sus altos costos. Aún y cuando el propósito fundamental del tratamiento de las aguas residuales municipales no es la reutilización, el agua residual tratada puede cubrir en algunos casos, la demanda no cubierta por las redes municipales o por otras fuentes.

Para efectos de este estudio las demandas de agua residual tratada se agruparon en tres principales usos: uso agrícola, uso industrial y uso urbano.

Otros posibles usos, como por ejemplo en sistemas contra incendios, lavado de autos, riego y compactación en la construcción, no fueron considerados, debido a sus bajos volúmenes.

6.4.3.1. Demanda de agua residual tratada para uso agropecuario

Las actividades agropecuarias fueron para el municipio de Ramos Arizpe su principal actividad económica desde su fundación, y el Arroyo la Encantada, -desde sus límites con el municipio de Saltillo y hasta su incorporación con el Arroyo de Patos en el poblado de Paredón- fue y sigue siendo una importante fuente de abastecimiento de agua, principal insumo para la actividad agropecuaria.

A partir de 1980, la actividad industrial ha crecido aceleradamente provocando que una parte de los insumos de la actividad agropecuaria (mano de obra, tierra, agua) se desplacen hacia la actividad industrial. No obstante, los insumos, tierra y mano de obra siguen disponibles en grandes volúmenes y los productos agropecuarios (granos, hortalizas, forraje y lácteos) incrementan su demanda, por el crecimiento de la población debido a la industrialización, por lo que es necesario el abasto de agua suficiente para mantener la actividad agropecuaria.

Actualmente se estima que el total de flujo del Arroyo La Encantada es de 1,200 Lps, del cual el 90% es reutilizado en actividades agropecuarias sin control, con baja eficiencia y productividad.

No existe información actualizada referente a las entradas de agua al Arroyo la Encantada diferentes a la descarga de aguas residuales tratadas de las plantas Principal de Saltillo y Ramos Arizpe (800 Lps) y de las aguas residuales domésticas que llegan sin tratar a través del Arroyo del Pueblo y el Arroyo Flores en la zona poniente de Saltillo (400 Lps); además de una pequeña corriente sin tratar que descarga el Parque Industrial Ramos Arizpe, aguas arriba de la planta de tratamiento de Ramos Arizpe.

De la encuesta realizada a los ejidatarios de la zona de influencia del Arroyo la Encantada para determinar el volumen de agua residual tratada que se utiliza, o puede ser utilizado en las actividades agropecuarias, se encontró que la superficie dotada a los ejidos para la agricultura es superior a las 11,000 ha y que los derechos de aguas superficiales registrados son de $11,400,000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, equivalente a 360 Lps (menos del 20 % del agua requerida para el cultivo de forrajes en esta superficie). Suponiendo que toda esta superficie fuera sembrada con forrajes, el déficit de agua para riego sería del orden de 57 millones de $\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$, equivalente a 1,800 Lps; esto es, más del 100% del agua residual generada en las zonas urbanas de Saltillo y Ramos Arizpe.

De esta misma encuesta se encontró que las tierras ejidales sembradas (principalmente con forraje) son aproximadamente 1373 ha con un valor de producción de \$10 millones. Considerando que el precio del forraje es de $\$2,000 \text{ ton}^{-1}$, el rendimiento por hectárea es de 3.6 ton para un total de 4,950 ton de forraje,

Si se considera que el volumen de agua residual que generan las zonas urbanas y que descargan con o sin tratamiento al Arroyo La Encantada es de 1,200 Lps ($38 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) se producirían 0.13 kg de forraje. m^{-3} de agua. El bajo rendimiento se puede deber a la baja eficiencia en el riego y las grandes pérdidas en la conducción por los canales de derivación.

En otras entidades con climas similares a la de la región en estudio, por ejemplo Durango, Baja California y San Luis Potosí, se obtienen rendimientos de hasta 10 a 12 ton ha^{-1} con rendimientos de producción de forraje de hasta 2.3 kg m^{-3} de agua. La producción anual podría llegar a 13,730 ton (10 ton ha^{-1}) con un valor de \$27,460,000 si se mejora la eficiencia de conducción del agua residual hasta las zonas de cultivo y con técnicas de riego adecuadas.

6.4.3.2. Demanda de agua residual tratada para uso industrial

El reúso industrial representa un mercado potencial significativo para el ART en muchas zonas urbanas con desarrollo industrial importante, sobre todo en donde los procesos no requieren una calidad potable. No obstante, es importante observar los volúmenes, la calidad del agua residual generada y la ubicación de las plantas de tratamiento para compararlos con los volúmenes y la calidad requerida por la industria

La industria puede reutilizar importantes cantidades de ART para procesos de enfriamiento, generación de vapor, lavado de productos, equipos y maquinaria, y en algunos casos puede llegar a

formar parte del producto. Por razones de riesgos sanitarios, la reutilización de agua no es conveniente en el procesamiento de materias primas para alimentos y farmacéuticos.

En la zona de cobertura de este estudio, los principales parques industriales se encuentran ubicados al noreste de la ciudad de Ramos Arizpe y en Derramadero al sur de la ciudad de Saltillo.

La ubicación de la PTAR Principal de Saltillo permite por gravedad abastecer de ART a los principales parques industriales ubicadas al noreste de Ramos Arizpe. Por el contrario, la reutilización del agua en la zona industrial de Derramadero, presenta grandes desventajas ya que requiere una alta inversión en infraestructura para el bombeo a una distancia aproximada de 35 km y un desnivel de 500 m. En este estudio sólo se considera la zona industrial de Ramos Arizpe.

En la industria establecida en la zona de Ramos Arizpe, destaca principalmente la industria automotriz (armadora y fabricantes de partes automotrices). También existen industrias de fundición de acero, refractarios, cementos, fertilizantes, farmacéuticas y recicladora de papel para la fabricación de pañales y toallas sanitarias.

Los procesos industriales de fabricación de partes automotrices, armado y maquinado consumen bajas cantidades de agua. Debido principalmente al alto número de personal, su principal demanda de agua es para uso y consumo humano. En cambio, las fundidoras de acero y las recicladoras de papel utilizan grandes cantidades de ART para sus procesos.

De acuerdo con los resultados de una investigación realizada a las industrias de la zona, el consumo anual de agua de las empresas encuestadas es de 3,803,287 m³ (Tabla 6.4) y representa el 82.7 % del volumen anual de consumo en la industria autoabastecida (4,594,536 m³).

Tabla 6.4. Concentrado de la información recabada en las encuestas a empresas

Empresa	Consumo anual de agua (m ³ año ⁻¹)				Uso industrial (%)	Uso potencial de aguas residuales tratadas	
	Total	Pozo propio	SAPARA	Pipas		m ³ año ⁻¹	L seg ⁻¹
1	1,550,000	1,550,000			98	1,400,000	44.39
2	1,550,000	1,500,000			100	1,500,000	47.56
3	450,000				76	*48,000	1.52
4	140,000	140,000			80	* 0	0
5	79,848		62,807	19,677	80	65,000	2.06
6	39,180				5		
7	19,861		19,861				
8	12,000			12,000	95	12,000	0.38
9	8,760	8,760			2	8,760	0.28
10	1,578		1,578			0	
11	1,524		1,524			150	0.00
12	900						
13					95		
Total	3,803,287					3,033,910	96.19

*Tienen planta de tratamiento de aguas residuales y reciclan su propia agua.

Como se puede ver, el consumo de agua que requieren para su operación las primeras tres empresas es superior al 92% del total. Lo anterior representa una intención de consumo de ARMT cercano a 95

Lps. El resto de las empresas de la Tabla 6.4 no mostraron intención de consumo superior a los 2 Lps. Esto se debe a que la mayoría de las industrias asentadas en la región operan procesos “secos” y desconocen los beneficios que pudiera tener su industria al usar ARMT en lugar de agua de pozo.

Si se considera un consumo promedio por empresa de 0.5 Lps, el consumo total de ARMT para uso industrial no puede ser mayor a 150 Lps. Este valor representa el 16.8 % de la producción actual de ARMT de la Planta Principal de Saltillo y la Planta Ramos Arizpe.

Actualmente, la empresa DeAcero (Planta Ramos Arizpe), ubicada muy cerca de la PTAR Principal de Saltillo consume 20 Lps y se espera que las nuevas instalaciones de la fundidora ubicada en el ejido Mesón del Norte (aproximadamente a 2 km de la PTARM- Ramos Arizpe) consuma 40 Lps.

Otro consumidor potencial es Kimberly Clark con un requerimiento de ART de 45 Lps. Esta empresa tiene dos opciones de abastecimiento. Por un lado, la PTARM-Ramos Arizpe, que se encuentra a una distancia de 5 km, con un ARMT con alto contenido de sólidos y un volumen limitado; y por otra parte, la PTARM-Principal, con un contenido de sales menor, pero a una distancia de 14 Km.

Fuera del área de estudio, en el estado de Zacatecas una empresa minera presenta una intención de compra de agua residual tratada de 500 Lps (15.8 millones de m³/año). El punto de uso de esta agua se encuentra a 140 km de distancia y con una elevación de más de 700 m de la PTARM Principal de Saltillo al punto de consumo. La posibilidad de venta de ARMT es baja, ya que el costo de la infraestructura, operación y mantenimiento para la conducción del agua, desde la PTARM Principal de Saltillo hasta el punto de uso es del orden de \$13.00 m⁻³ (\$2,000 millones de inversión, amortizable a 20 años) y \$7.00 m⁻³ de operación y mantenimiento. De acuerdo a estudios de disponibilidad de agua hechos por la Comisión Nacional del Agua, el acuífero Cedros Zacatecas No.3218 está ubicada cerca de esta explotación minera. Este acuífero tiene una disponibilidad de más de 40 millones de m³ año⁻¹, equivalentes a 1,2268 Lps, los cuales deberían ser suficientes para la operación de la mina.

En caso de venderse esta agua, el precio de venta debería evaluarse de acuerdo a los mercados alternos de ART como lo son el riego de áreas verdes, uso agrícola y uso industrial en la zona de Ramos Arizpe. Asimismo, se debe evaluar el costo ambiental que significa trasvasar el agua a otra cuenca, así como el costo-beneficio que representa para la empresa minera el abastecerse de ARMT desde Saltillo.

6.4.3.3. Demanda de agua residual tratada para uso urbano

Las áreas verdes conforman espacios públicos cuyo elemento principal es la vegetación. El crecimiento de las zonas urbanas implica un crecimiento paralelo de sus áreas verdes, ya que es necesario mantener en equilibrio sus condiciones ambientales, las cuales desempeñan funciones esenciales para la calidad de vida de los habitantes.

El agua es el principal insumo para el correcto manejo y manutención de las áreas verdes. La demanda de agua para este uso, aumenta con el crecimiento de la población, y en zonas de baja precipitación pluvial, como es el caso, el agua destinada a este uso puede ser tan alta como el agua destinada al uso y consumo humano. La calidad y la ubicación del agua residual tratada son dos factores importantes para el eficiente aprovechamiento.

Áreas verdes y volúmenes de agua requeridos

Hasta el 2008, se utilizaba agua de los pozos ubicados en las cercanías de los parques para regar las áreas verdes públicas, utilizando ya sea circuitos de riego al interior de los parques, o transportando el agua en pipas hasta donde fuera requerido. El agua de estos pozos, cumplía en algunos casos con las especificaciones de agua potable y algunos parques eran regados con agua potable de la red municipal. Esta última práctica aún se sigue llevando a cabo, no obstante el alto costo que implica para los vecinos, quienes pagan el agua utilizada para el riego de áreas verdes como agua potable a precios muy altos por el efecto de tarifas diferenciales, contribuyendo a disminuir la dotación de agua potable para uso y consumo humano.

A partir del año 2008, con el inicio de la operación de las PTARM, el ART en la Planta del Gran Bosque Urbano (PTARM-GBU) es utilizada para regar las áreas verdes de la zona nor-oriente de la ciudad como el Gran Bosque Urbano, el parque Paraíso en la zona de la Aurora, parte de las áreas verdes de Campo Redondo, la Ciudad Deportiva y camellones de los boulevares Paseo de la Reforma y Fundadores. El riego se realiza por gravedad, utilizando una red de distribución construida para tal propósito y en algunos casos utilizando pipas para transportar el agua hasta el punto requerido.

Los flujos de agua utilizados actualmente para el riego de estas áreas es de 52 Lps para una cobertura de riego aproximada de 50 ha.

La PTARM-GBU tiene capacidad para tratar 70 Lps, pero solamente opera a 52 Lps, con la que abastece su limitada red de distribución.

Por los datos anteriores, se deduce que el agua requerida para el riego de los áreas verdes de los parques públicos es de aproximadamente 0.9 Lps ha^{-1} bajo las condiciones actuales de riego y tipo de vegetación. Esto significa que si se quiere cumplir con las recomendaciones de la OMS de 10 m^2 de áreas verdes por habitante, para la ciudad de Saltillo (727 ha) se requieren 727 Lps, es decir el equivalente al 65% del agua residual generada por la población y al 92% de la ART actualmente.

En el futuro, el total de las áreas verdes deben estar diseñadas con vegetación adecuada al entorno ambiental, carente de agua y a la variación de temperaturas estacional.

Para el aprovechamiento eficiente del ART en el riego de áreas verdes, las plantas de tratamiento deberán ubicarse de tal manera que los costos de inversión y operación de las plantas y redes de distribución se minimicen. Para esto se recomienda construir varias plantas pequeñas ubicadas en puntos óptimos para la captación de aguas residuales y para la distribución de agua tratada en áreas verdes.

Otra manera de aprovechar el ARMT en áreas verdes, es crear reglamentos para que los nuevos desarrollos (urbanos, industriales, comerciales y residenciales) cuenten con sistemas de tratamiento propios y redes de distribución de agua residual tratada para su reutilización en el riego de áreas verdes y otros usos dentro del desarrollo o en zonas cercanas.

6.5. Factibilidad técnica-económica de reutilización del ARMT: Tres escenarios

Como se puede deducir de lo anterior, la suma de las demandas de ARMT es mayor que la oferta actual. Aún si se lograra captar y conducir el total del agua residual generada a las plantas de tratamiento en el área de estudio, la demanda seguirá superando a la oferta.

Diversos factores influyen en la óptima distribución del ARMT:

- *Económicos:* Vender el ARMT para la recuperación del costo de tratamiento y no cargarlo a la población.
- *Sociales:* Legalizar la entrega del ARMT a los agricultores de la zona del Arroyo La Encantada, que es la fuente de supervivencia de la población del área (la corriente de agua de este arroyo, aun sin tratamiento siempre ha sido utilizada por los agricultores).
- *Ambientales:* Se requieren altos volúmenes de agua para el riego de las áreas verdes en las zonas urbanas para mantener el equilibrio ecológico, propiciar lluvias y mantener los niveles de los acuíferos.

Estos factores generan múltiples combinaciones de distribución de uso del ARMT.

Para efectos de este estudio se consideran 3 escenarios, para lo cual se combinan las demandas máximas y mínimas en cada una de las aplicaciones de reúso. Es importante señalar que se consideran como demandas mínimas las cantidades ya comprometidas a la fecha.

6.5.1. Escenario 1. Aprovechamiento máximo del ARMT en uso agropecuario

Se considera reutilizar el máximo de ARMT para aplicaciones agrícolas, respetando los volúmenes de agua utilizados actualmente en las áreas industriales y en riego de áreas verdes (Tabla 6.5).

Tabla 6.5. Volúmenes de ART utilizados actualmente en las diferentes aplicaciones

Uso o aplicación	Volumen de agua utilizado (Lps)
Agrícola	1,110
Urbano (riego de áreas verdes)	70
Uso industrial	20
Total	1,200

En este caso, las actividades industriales desplazan a las actividades agrícolas, por lo que los suelos para cultivo, se alejan cada vez más del punto de descarga de ARMT sobre el Arroyo La Encantada. Actualmente existen 40 km de canales de derivación para conducir el agua desde el Arroyo La Encantada hasta los ejidos Mesón del Norte, Zertuche, Higo, Mesillas y Paredón.

Uno de los factores claves para lograr el aprovechamiento óptimo del agua en esta actividad, es el incremento de la eficiencia de conducción del ARMT desde el Arroyo la Encantada hasta las zonas de cultivo. Esta actividad requiere de una inversión para la reconstrucción y desazolve de los canales de derivación del arroyo hasta las zonas de cultivo. Por ejemplo, para la conducción eficiente de 1,200 Lps (caudal de riego potencial requerido por los ejidos) se requiere desazolvar y/o reconstruir los canales existentes, con una longitud aproximada de 35 km. Se estima una inversión de 10 millones de

pesos para esta obra, la cual puede ser financiada por las dependencias que cuentan con programas de apoyo a las actividades agropecuarias, además de la participación de los ejidatarios. Asimismo, se requiere mejorar las técnicas de riego y cultivo para incrementar la producción actual de forrajes de 3.6 ton ha^{-1} a 10 ton ha^{-1} , para una producción total de 13,730 ton, con un valor de 27,5 millones de pesos año⁻¹.

Dado que los requerimientos de agua para la agricultura en esta zona son altos, y por otro lado, las concesiones y/ asignaciones de agua subterránea entre los ejidatarios es de solamente de 1.9 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ (60 Lps), el incremento de los volúmenes de agua por la reconstrucción y el desazolve de los canales, no podrán ser intercambiado por los volúmenes concesionados y/o asignados.

La rentabilidad de este plan para los ejidatarios es evidente, ya que éstos recibirán los beneficios sin cubrir el costo de tratamiento del agua residual. En este caso, la población urbana (principal generadora de los contaminantes del agua) seguirá cubriendo el costo del tratamiento. No obstante, los agricultores deberán utilizar el agua de manera responsable, optimizando su uso con la implementación de técnicas agronómicas adecuadas. Con la certidumbre de volúmenes constantes y la mejora en la calidad del agua, podrán cambiar a cultivos de mayor valor.

En este mismo escenario se reutilizan 70 Lps de ART para el riego de áreas verdes (que corresponden a la capacidad total de tratamiento de la PTARM-GBU). Actualmente sólo se utilizan 17 Lps para este fin. Para la reutilización del total del agua en esta aplicación (70 Lps) se requiere ampliar la red de distribución (hacia Campo Redondo y a algunos parques al noreste de la ciudad).

El ART propiedad del municipio, es también utilizada para el riego de áreas verdes públicas, por lo que el aprovechamiento de esta agua no se vería reflejado en términos monetarios. Sin embargo la disminución de la extracción de agua subterránea (pozos) de la zona urbana que actualmente se están utilizando para el riego de parques y jardines sería una realidad. Para el aprovechamiento de 70 Lps (capacidad de la PTARM-GBU), el municipio deberá invertir en ampliación de la red de ART.

Actualmente, la reutilización de agua tratada en la industria es de 20 Lps ($630,720 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) transferidos a la empresa DeAcero a un precio de $\$4 \text{ m}^{-3}$ se obtiene un ingreso de $\$2,522,880$ al año.

Beneficios ambientales del uso de ARMT para aplicaciones agrícolas

La conducción del agua por el cauce del Arroyo La Encantada mantiene la humedad en la zona de influencia del arroyo y da vida a muchas especies, lo cual es benéfico para el ecosistema. No obstante, las pérdidas de agua por evaporación generadora de este ambiente, sacrifican la productividad del agua en la agricultura.

En este escenario también se puede contabilizar el aprovechamiento de 70 Lps de agua utilizada en riego de 77 ha de áreas verdes y la disminución de la extracción de 70 Lps que se gastarían en el riego de las mismas.

Plan financiero para el aprovechamiento del ARMT para uso agrícola

La inversión requerida para el aprovechamiento máximo de las ART en aplicaciones agrícolas se describe a continuación:

Tabla 6.6. Inversión estimada requerida para el aprovechamiento de las ARMT en aplicaciones agrícolas

Actividad	Inversión estimada (millones de pesos)
Desazolve y reparación de los canales de conducción de ART a los puntos de aprovechamiento	10
Ampliación de la red de ART en la PTAR GBU para el aprovechamiento en el riego de áreas verdes	15
TOTAL	25

El costo de la primera actividad deberá ser cubierto por las dependencias que brindan apoyo a la productividad del sector agropecuario y por los agricultores beneficiados con la obra.

Actualmente se utilizan camiones cisterna para la transportación del ART desde las PTAR hasta los jardines. Este procedimiento resulta altamente ineficiente, además de costoso (\$60 m³). La ampliación de la red de agua tratada permitirá reducir los costos de transportación del agua tratada. Con este ahorro será posible cubrir parte del costo de la ampliación de la red; el resto deberá ser cubierto por el municipio como parte de sus gastos de mantenimiento de parques y jardines, y por los vecinos beneficiados por el riego de áreas verdes.

Considerando que ya existe la infraestructura necesaria para la reutilización del ART en aplicaciones industriales (tratamiento terciario y línea de conducción a la planta De Acero Ramos Arizpe) no se requiere más inversión. El costo total de la inversión es de 25 millones de pesos.

La Tabla 6.7 muestra los ingresos para los municipios por la venta de ART para esta aplicación.

Tabla 6.7. Ingresos para los municipios por la venta de ART para uso agrícola

Aplicación del ART	Ingresos (MXN)
Uso agrícola	--
Uso urbano (riego de áreas verdes)	--
Uso industrial	\$2,522,880
TOTAL	\$2,522,880

En este escenario, los únicos ingresos para los municipios corresponden a la venta de agua a la industria y son equivalentes al 2.5 % del costo de operación del tratamiento de las AR. El resto del costo de operación del tratamiento deberá ser cubierto por los primeros usuarios del agua potable.

6.5.2. Escenario 2. Aprovechamiento máximo del ARMT en uso industrial

En este escenario se contempla llevar al máximo la reutilización del agua en la industria en la zona de estudio (150 Lps), 70 Lps para el riego de áreas verdes (capacidad de la PTARM-GBU) y el resto (980 Lps) se destina a la reutilización en el sector agropecuario (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Volúmenes de ART para las diferentes aplicaciones en el Escenario 2 (ART para uso industrial)

Uso o aplicación	Volumen de agua utilizado (Lps)
Agrícola	980
Urbano (riego de áreas verdes)	70
Uso industrial	150
Total	1,200

La cantidad máxima de ART para reutilizar en la industria está determinado por 1.5 veces lo detectado en la encuesta realizada en los parques industriales ubicados en el municipio de Ramos Arizpe y la zona norte del municipio de Saltillo. Actualmente se entregan 20 Lps, a la empresa DeAcero planta Ramos Arizpe desde la PTARM-Principal.

La infraestructura requerida para este escenario es prácticamente la construcción de una red de distribución de ART. El caso más simple es construir un ducto de aproximadamente 14 km entre la PTARM-Principal y la empresa Kimberly Clark (la más alejada de la planta y la de mayor potencial y posibilidades de reutilización). De este ducto se pueden derivar a otros posibles usuarios de ART de los parques industriales de la zona.

Kimberly Clark sería el cliente con mayor potencial y mayores posibilidades de compra (45 Lps) y tendría dos opciones de abastecimiento: la PTARM-Principal, o la PTARM-RA. La primera opción tiene la ventaja de abastecer agua de mejor calidad en el parámetro de sólidos disueltos totales (SDT). No obstante, para conducir el agua a la planta se debe construir un ducto de 14 km.

En cuanto al precio de venta, éste deberá competir con los costos actuales de suministro de agua de pozo en su propia planta (se estima en \$7 m⁻³), así como con la calidad del agua que actualmente se obtiene de los pozos cercanos en el parámetro SDT.

Para tener rentabilidad en este proyecto, el vendedor de ART (municipio de Saltillo o cualquier esquema de sociedad que promueva y opere la venta de agua a esta empresa y a otras de la zona), deberá construir el ducto para la conducción del agua, ya que de este ducto derivará una red para abastecer a otros posibles clientes que se encuentren en el trayecto de la PTARM Principal de Saltillo y la planta Kimberly Clark.

La venta de agua a estos otros clientes potenciales (que en el largo plazo podría llegar a ser de 45 Lps), daría rentabilidad al proyecto cubriendo la amortización de la inversión. Sin embargo, no cubriría el costo del tratamiento, por lo que en este escenario al igual que en el anterior, el primer usuario de agua potable deberá cubrir el costo del tratamiento. A pesar de ello, queda el beneficio ambiental al disminuir la extracción de agua hasta 150 Lps. La venta de 45 Lps de ART a otras industrias de los parques industriales en el trayecto PTARM-Principal hasta Kimberly Clark son indispensables para la amortización de la inversión.

La misma empresa DeAcero en su planta ubicada en Mesón del Norte, a 2 km al norte de la PTARM-RA, tiene un contrato para adquirir a largo plazo 40 Lps de ART al municipio de Ramos Arizpe y a su concesionario Domos Aqua. DeAcero actualmente está construyendo el ducto para conducir dicho caudal de agua. La inversión en este ducto es cubierta por parte de la empresa DeAcero y pasará a ser

propiedad del municipio de Ramos Arizpe al término del contrato. Problemas con derechos de vía están retrasando la conclusión de la obra.

El precio pactado para esta operación es de \$1.9 m⁻³, y por acuerdo contractual de los ingresos de la venta de agua tratada, el municipio de Ramos Arizpe recibe el 70%, mientras que la operadora de la planta (Domos Agua) recibe el 30%, por lo que el municipio de Ramos Arizpe estará recibiendo aproximadamente \$1.33 m⁻³.

La segunda opción para vender agua tratada a Kimberly Clark, es el abastecimiento desde la PTAR Ramos Arizpe, la cual aún después de cumplir con el compromiso de abastecer 40 Lps a DeAcero Planta Mesón del Norte, tiene capacidad para surtir los 45 Lps requeridos por Kimberly Clark.

La ventaja de surtir desde esta planta es que la longitud del ducto es de sólo 4 km, lo que disminuye el costo de la inversión y de amortización comparado con la primera opción. La desventaja es la alta cantidad de SDT que deben ser eliminados para que el agua pueda utilizarse en el proceso de Kimberly Clark. Esto representa un alto costo, el cual deberá ser cubierto por el vendedor a través de la disminución del precio de venta.

En este escenario las condiciones de reutilización de agua tratada en uso urbano no se modifican con respecto al primer escenario.

La reutilización de ARMT en aplicaciones agrícolas sólo cambia marginalmente (de 1,110 a 980 Lps) por lo que los costos de inversión en la conducción del agua a la agricultura no cambian y la productividad de esta área sólo disminuye marginalmente en proporción del agua reutilizada.

Plan financiero para el aprovechamiento del ARMT para uso industrial

Como el caudal del ART para uso agrícola es el 89% del Escenario 1, el costo de desazolve y reparación de canales de conducción de agua residual a los puntos de aprovechamiento es el mismo que en el primer escenario (10 millones de pesos) y deberá ser cubierto por dependencias que brinden apoyo a la productividad del sector agropecuario y por los agricultores beneficiados con la obra (Tabla 6.9).

Tabla 6.9. Inversión estimada requerida para el aprovechamiento de las ART para uso industrial

Actividad	Inversión estimada (millones de pesos)
Desazolve y reparación de los canales de conducción de ART a los puntos de aprovechamiento	10
Ampliación de la red de ART en la PTAR GBU para el aprovechamiento en el riego de áreas verdes aguas abajo	15
Construcción de la red de distribución de ART (línea morada) para uso industrial	140
TOTAL	165

La construcción de la red de distribución de ARMT para uso industrial (línea morada) deberá ser financiada por los ingresos obtenidos de la venta de agua tratada a la industria. Los precios de venta a la industria pueden ser entre \$5 y \$7 y el volumen de venta puede variar desde 45 Lps (para Kimberly Clark) hasta 100 Lps. La inversión puede variar entre los 100 y 140 millones de pesos dependiendo de la ruta y red de distribución de los Parques Industriales

Los gráficos de la Figura 6.1 muestran el periodo de recuperación de la inversión considerando las variables arriba mencionadas y tasas de interés de 5% anual.

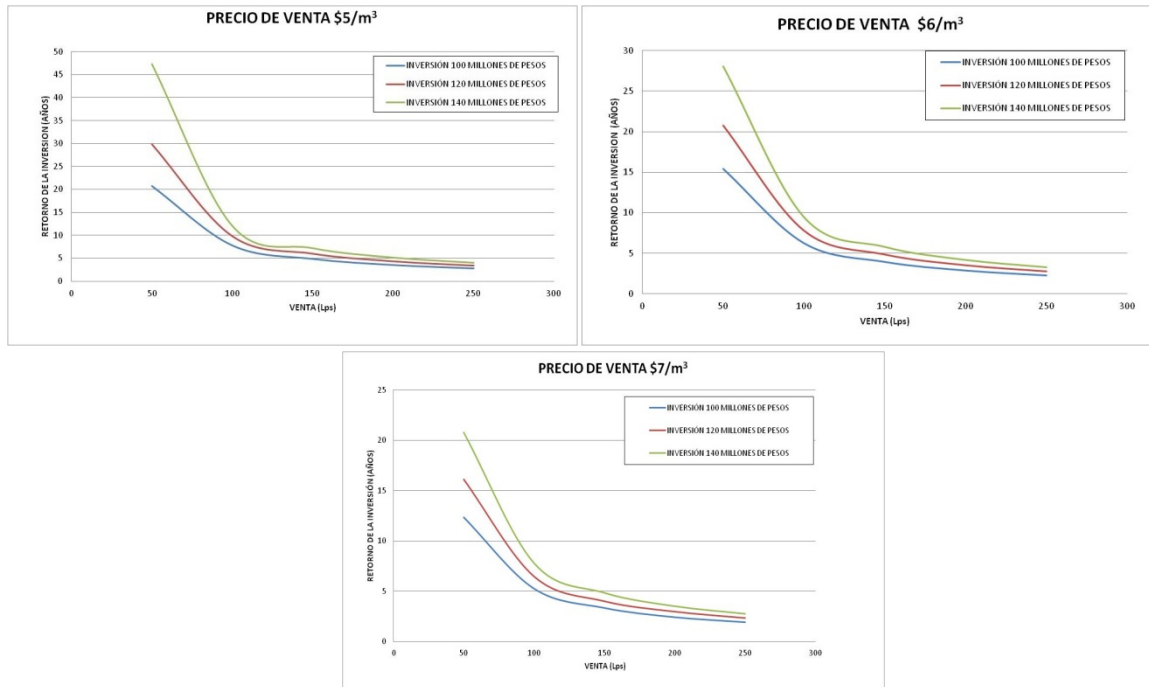


Figura 6.1. Proyecciones de recuperación de la inversión en la construcción de la línea morada

6.5.3. Escenario 3. Aprovechamiento máximo del ARMT en uso urbano (riego de áreas verdes)

Actualmente existen 582 ha de áreas verdes en la zona de estudio. De acuerdo al número de habitantes y siguiendo las recomendaciones de la OMS (10m² por habitante), se requieren de 850 ha de áreas verdes.

Considerando las condiciones climatológicas de la zona, para el adecuado mantenimiento de las áreas verdes se necesitan de 765 Lps de agua. Si esta agua se toma de los 1,200 Lps que generan las PTAR, queda un sobrante de 435 Lps, de los cuales 20 Lps están comprometidos con la industria y el resto (415 Lps) podrán ser destinados para uso agrícola en la zona del Arroyo La Encantada en Ramos Arizpe (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Volúmenes de ART para las diferentes aplicaciones considerados en el Escenario 3

Uso o aplicación	Volumen de agua utilizado (Lps)
Agrícola	415
Urbano (riego de áreas verdes)	765
Uso industrial	20
Total	1,200

Bajo tales condiciones, este escenario es difícil de realizar, dado a la ubicación de las PTAR y las especificaciones de calidad del ART que se requiere para esta aplicación. No obstante, se presenta este escenario con fines comparativos de costos y los beneficios económicos y ambientales. Asimismo, es útil para proyectar la ubicación y especificaciones de la calidad de agua requerida para propósitos de riego de áreas verdes, para el diseño y construcción de plantas de tratamiento futuras.

Si toda el agua residual generada por la población llegara a las PTAR, éstas estarían cerca de su máxima capacidad y sería necesaria la construcción de nuevas PTAR o la ampliación de las existentes.

En las visitas de campo realizadas, se pudo observar que las 582 ha de áreas verdes de la zona de estudio se encuentran en general con deficiencias en el riego.

La distribución del agua tratada en la PTARM-GBU se realiza de dos maneras:

- 1) Las áreas verdes del GBU, el parque La Aurora, Campo Redondo, Ciudad Deportiva y camellones de las zonas cercanas a estas áreas, que están ubicados aguas abajo de la PTAR GBU (aproximadamente 20 ha) son regados por una red de ART construida para este propósito

Las mediciones de los caudales para el riego de estas áreas son incompletas, pero se estima que son cerca de 17 Lps, ($44,000 \text{ m}^3 \text{ mes}^{-1}$) esto es, apenas el 32 % del agua tratada por la PTARM-GBU. Este sistema opera por gravedad por lo que el costo de operación es mínimo; no obstante se requirió de una inversión de 23 millones de pesos en el 2006 y falta ampliar la red para poder aprovechar el total del agua tratada.

La inversión para poder distribuir el total de la capacidad de la planta (70 Lps) en las áreas verdes públicas cercanas y aguas abajo de esta planta es del orden de 15 millones de pesos.

- 2) Actualmente, $400 \text{ m}^3 \text{ mes}^{-1}$ (1 Lps) de ARMT son distribuidos por pipas a diferentes boulevares y parques públicos. El costo estimado de esta distribución es del orden $\$60 \text{ m}^{-3}$.

El escenario propuesto “maximizar la utilización del ART en el riego de áreas verdes” tiene pocas posibilidades de llevarse a la práctica en este momento, ya que se requiere modificar las condiciones de operación de la PTAR Principal de Saltillo, y el re-bombeo de 670 Lps de agua hasta las áreas verdes que lo requieran.

Sin embargo, la ubicación óptima de las futuras PTAR en este escenario debe ser una alternativa viable en el futuro. Si se quiere tener las áreas verdes recomendadas por la OMS, y se sigue utilizando agua de pozo para este propósito, la disminución de los niveles de los mantos freáticos de los acuíferos de la zona pueden llegar a niveles críticos.

Si se captan y conducen a tratamiento el total del agua residual generada en la zona urbana del municipio de Saltillo, la PTARM-Principal alcanzaría prácticamente su capacidad de diseño, por lo que ya está cerca la ampliación o construcción de nuevas plantas.

El incremento de la población en los próximos 10 años en la zona conurbada se estima que es de 250,000 habitantes, lo que generaría un incremento de 400 Lps de aguas residuales. Esto supera la capacidad de tratamiento actual.

Si se desea la reutilización del ART en el riego de áreas verdes, será necesario construir 3 o 4 plantas de tratamiento con capacidad total de 300 Lps y con una ubicación estratégica para su aprovechamiento en el riego de áreas verdes actuales y futuras.

El necesario incremento de las áreas verdes es paralelo a los requerimientos de agua para su mantenimiento, por lo que es indispensable que los planes de desarrollo urbano contemplen estos requerimientos de agua y la alternativa de abastecimiento con ART.

Los factores que determinarán el tamaño y la ubicación de estas nuevas plantas son la disponibilidad de las ART y la cercanía de las áreas verdes, o la creación de nuevas áreas verdes que completen la cuota recomendada por la OMS.

Áreas verdes privadas

Considerando los precios que pagan los vecinos de las zonas residenciales por el agua para el riego de sus áreas verdes, debe ser altamente rentable en los nuevos desarrollos habitacionales de baja densidad y con gran proporción de áreas verdes, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales propias y la reutilización del ART en riego de áreas verdes a través de redes construidas para tal propósito. Esto disminuiría la dotación de agua potable que se le debe asignar a estos nuevos desarrollos, así como la descarga y conducción de drenaje a las redes municipales.

Este esquema de tratamiento de aguas residuales por las empresas promotoras de desarrollos urbanos, y la reutilización en las áreas verdes de sus propios desarrollos, ya se lleva a cabo con éxito en el desarrollo comercial GALERIAS, donde los jardines y camellones son regados con ART de su propia planta.

Los proyectos para tratar y reutilizar el agua dentro de los nuevos desarrollos urbanos, deberán ser supervisados por la autoridad, para asegurar la correcta operación y evitar problemas sanitarios. Además deberán tener incentivos, tales como concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas cuando exista disponibilidad, la disminución de tarifas de drenaje por no utilizar este servicio y la cancelación de cuotas por saneamiento.

Plan financiero para el aprovechamiento del ART para el riego de áreas verdes

Como se indicó anteriormente, este escenario es difícil llevarlo a cabo en las condiciones actuales y es prematuro presentar un plan financiero para las condiciones futuras. Sin embargo, se presenta algunos datos de los costos de las inversiones requeridas.

Una planta de tratamiento que produzca agua con calidad para riego de áreas verdes (NOM-003-SEMARNAT-1997) con capacidad de 100 Lps y una red de agua residual para su reutilización, tiene un costo estimado en 50 millones de pesos (en los próximos 10 años se requieren 3 PTARM), El financiamiento puede ser a través de fondos federales privados y la amortización con cargo a los municipios y/o los vecinos beneficiados.

La concesión de agua residual a desarrolladores urbanos para su tratamiento y posterior reutilización en áreas verdes públicas y privadas puede coadyuvar al financiamiento.

Finalmente, y a manera de resumen, en la Tabla 6.11 se presenta un comparativo de los tres escenarios planteados en el análisis de factibilidad técnica-económica de reúso de las aguas residuales municipales tratadas de Saltillo y Ramos Arizpe.

Tabla 6.11. Cuadro comparativo de los escenarios planteados para el aprovechamiento de ART en diferentes aplicaciones

Escenarios	Maximizar riego agrícola en los ejidos aledaños al arroyo La Encantada	Maximizar el uso industrial	Maximizar el uso urbano para el riego de áreas verdes
Distribución del ARMT (Lps)	Uso Agropecuario: 1110 Uso industrial: 20 Uso urbano: 70	Uso Agropecuario: 980 Uso industrial: 150 Uso urbano: 70	Uso Agropecuario: 415 Uso industrial: 20 Uso urbano: 765
Inversión en infraestructura (pesos)	10,000,000	150,000,000	150,000,000
Ingresos para los municipios (pesos año)	2,500,000	28,350,000	2,500,000
Beneficios ambientales	Mantener la humedad en 60 Km de la zona del Arroyo La Encantada. Seguir recargando los acuíferos regionales.	Mantener la humedad en 60 Km de la zona del Arroyo La Encantada. Seguir recargando los acuíferos regionales. Dejar de extraer agua de pozo para varias aplicaciones industriales.	Aumentar las áreas verdes urbanas a 750 ha. Dejar de extraer agua de pozo para riego de áreas verdes.
Otros beneficios	Conservar la producción agrícola (aumentando su eficiencia) Aumentar la rentabilidad agropecuaria. Conservar el empleo de más de 200 ejidatarios y avocindados y un número no determinado de pequeños propietarios	Ingresos altos para los municipios. Conservar la producción agrícola (aumentando su eficiencia) Aumentar la rentabilidad agropecuaria. Conservar el empleo de más de 200 ejidatarios y avocindados y un número no determinado de pequeños propietarios	Los municipios dejarían de pagar a la CONAGUA por extracción de agua de pozo para riego de áreas verdes, y los usuarios dejarían de pagar a los organismos operadores por el consumo de agua para riego.
Desventajas	Ingresos bajos para los municipios. Limitar en gran medida la disponibilidad de agua de reúso para otros usuarios.	Reducir un poco la disponibilidad de agua de reúso para otros usuarios.	Ingresos bajos para los municipios. Limitar en gran medida la disponibilidad de agua de reúso para otros usuarios.

7. Conclusiones Generales

La zona conurbada de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga está asentada en una región con escasos recursos hídricos. En los últimos 40 años, Saltillo y Arteaga han multiplicado su población más de cuatro veces y Ramos Arizpe más de 10 veces. Lo anterior ha traído como consecuencia una mayor demanda de agua para satisfacer sus necesidades básicas, generando a su vez, grandes cantidades de ARM que requieren ser tratadas antes de reintegrarlas al medio ambiente. En este sentido, la disponibilidad de agua es de alta importancia y debe ser considerada como un punto estratégico en los planes de desarrollo de los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

Por otro lado, las PTARM instaladas en Saltillo y Ramos Arizpe cumplen con los requerimientos establecidos en las normas correspondientes; no obstante, es necesario incrementar la cadena de valor de estos procesos. Bajo las condiciones actuales de los acuíferos, es indispensable establecer estrategias para utilizar de manera óptima los recursos hídricos en todo el ciclo de vida. Así, el reúso del ARMT debe considerarse como una actividad imprescindible. Por lo anterior, es necesario implementar esquemas adecuados que permitan beneficiar al sector productivo (industrial, agrícola y de servicios), al sector social y al sector gubernamental. Además, tales esquemas deben beneficiar al medio ambiente y ayudar a conservar el valor ecológico de la biodiversidad de la región.

Los volúmenes de aguas residuales municipales tratadas obtenidos de las 2 plantas de Saltillo y de la de Ramos Arizpe pueden ser distribuidos para satisfacer la demanda actual del sector industrial, para la irrigación de una cantidad importante de aguas verdes urbanas y para proveer agua para actividades agrícolas.

Adicionalmente, es pertinente remarcar el alto valor ecológico que tiene el arroyo La Encantada para la región, por lo que resulta muy importante elaborar e implementar estrategias para mantener y enriquecer la riqueza ambiental que representa.

Es necesario implementar acciones conjuntas para cristalizar el reúso óptimo de las aguas residuales municipales tratadas. Todos los sectores de la sociedad han manifestado de una u otra manera su interés por utilizar eficientemente el agua; sólo resta llevar a la práctica los planes de reúso, especialmente aquellos que consideran de manera integral la problemática del agua en la región. Se han dado pasos importantes, como la irrigación de áreas verdes con agua residual tratada y contratos de venta de ARMT tratadas al sector industrial. No obstante, es necesario intensificar este tipo de acciones para sistematizar en el corto plazo el reúso integral de las aguas residuales tratadas.

En general, es de vital importancia considerar los puntos de vista, y sobre todo la experiencia, de los diferentes actores involucrados en el tema del agua para la implementación de planes rectores. Por ejemplo, el sector gubernamental debe atender los requerimientos del sector agrícola, y éste a su vez, debe estar abierto a las propuestas y recomendaciones tanto del sector gubernamental como del académico.

Y aún, lo más importante es generar una conciencia generalizada en la sociedad sobre el uso correcto de los recursos hídricos. Se trata de un tema complejo, pero posible encontrar soluciones que beneficien a todos y se siga manteniendo un nivel de vida adecuado.

8. Bibliografía consultada

- Aguas de Saltillo –AGSAL- (2010), “Plan Director de Aguas de Saltillo 2010”, consultado en las oficinas de la Delegación de CONAGUA en el Estado de Coahuila.
- Centro de Estudios de Urbanismo y Arquitectura –CEUA-, “Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Arteaga”. Disponible en http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CC4QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.coahuilatransparente.gob.mx%2Fotrainfo%2Fdocumentos_otrainfo%2FPLAN%2520DIRECTOR%2520DE%2520DESARROLLO%2520URBANO%2520DE%2520ARTEAGA%2C%2520COAHUILA.doc&ei=Fs0vUvrlMzFiwKbzoH4CQ&usg=AFQjCNGrY4QXUTrauENDWLqsiQJKEBgfRA&sig=7hjYQkMKRHI3-WsQ_84bZA. Consultado en agosto de 2013.
- Centro de Estudios de Urbanismo y Arquitectura –CEUA-, “Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Ramos Arizpe”. Disponible en http://periodico.sfpcoahuila.gob.mx/modulo_versumariocompleto.asp?Id_Sumario=2709.
- Centro de Estudios de Urbanismo y Arquitectura –CEUA- (2005c), “Actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano de Saltillo”. Disponible en http://periodico.sfpcoahuila.gob.mx/modulo_versumarios.asp?Ano=2005&Mes=12. Consultado en agosto de 2013.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento –CEAS- de Coahuila (2005), “Informe de la Situación del Agua Potable en Coahuila al año 2004”.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento –CEAS- de Coahuila (2009), “Informe de la Situación del Agua Potable en Coahuila al año 2008”.
- Consultores, S.A. de C.V. (1999), “Plano General de Alcantarillado Sanitario de Ramos Arizpe”, elaborado para la Comisión Nacional del Agua y obtenido del Mpio. de Ramos Arizpe, en respuesta a una solicitud de información de Gloria Tobón de Garza)
- Corporación Mexicana de Investigación en Materiales -COMIMSA- (2004), “Saneamiento Integral de las Aguas Residuales del Municipio de Saltillo, Coahuila.”, Anexo C “Anteproyecto de los Emisores Satélite Norte, del Pueblo, Cerritos y Principal para la Licitación de la Prestación del Servicio de Saneamiento de las Aguas Residuales del Municipio de Saltillo, Coahuila.”
- DEMM Consultores, S.A. de C.V. (1997), “Actualización del Plan Maestro para el Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Ciudad de Saltillo, Coahuila”.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, “Arteaga”, disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM05coahuila/index.html>. Consultado en agosto de 2013.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, “Ramos Arizpe”, disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM05coahuila/index.html>. Consultado en agosto de 2013.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, “Saltillo”, disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM05coahuila/index.html>. Consultado en agosto de 2013.
- García, Elizabeth y Eduardo Mata Álvarez (2012), “Ramos, una letrina”, artículo publicado en el periódico El Pionero de Ramos Arizpe. Disponible en <http://periodicoelpionero.mx/index.php/local/692-ramos-una-letrina.html>. Consultado en marzo de 2012.
- Gil Vara, Manuel (2013), Entrevista concedida a Gloria Tobón de Garza el 4 de julio de 2013).
- Ideal Saneamiento de Saltillo –ISASAL- (2006), “Manifiesto de Impacto Ambiental – Modalidad Particular- del Saneamiento Integral de las Aguas Residuales del Municipio de Saltillo, Coahuila”.
- Ingeniería de Sistemas Sanitarios y Ambientales, ISSASA (2006), “Manifiesto de Impacto Ambiental – Modalidad Particular- de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Municipio de Ramos Arizpe, Coahuila”.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática –INEGI- (1990), “Censo General de Población y Vivienda 1990”, información consultada en el Módulo de Atención a Usuarios del Centro de Consulta, Delegación Estatal del INEGI, Saltillo, Coahuila.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática –INEGI- (2000), “Censo General de Población y Vivienda 2000”, información consultada en el Módulo de Atención a Usuarios del Centro de Consulta, Delegación Estatal del INEGI, Saltillo, Coahuila.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática –INEGI- (2010), “Censo General de Población y Vivienda 2010”, información consultada en el Módulo de Atención a Usuarios del Centro de Consulta, Delegación Estatal del INEGI, Saltillo, Coahuila.

Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado (SAPAC) de Coahuila (1986), plano “Colectores principales de la ciudad de Saltillo”, entregado en agosto de 1986 por el Ing. Javier de la Fuente a Gloria Tobón de Garza.

Servicios de Ingeniería e Informática –SII-, S.C.(2002), “Proyectos Ejecutivos del Emisor, Estaciones de Bombeo y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con la Tecnología de Lodos Activados de la Ciudad de Arteaga, Coahuila”, Contrato CEAD-IA 1-38-92-EST.

Tobón de Garza, Gloria (1986), “Problemática del Abasto de Agua en Saltillo”, capítulo 2 del libro “Uso Racional del Agua en la Industria”, publicado por la Cámara Nacional de la Industria de Transformación – Delegación Saltillo. Disponible la sección del Centro de Documentación Regional (CEDOR) en la Infoteca Central de la Universidad Autónoma de Saltillo.

Tobón de Garza, Gloria (2012a), “Visita a SIMAS-Arteaga”, reporte incluido en los anexos de la segunda etapa del proyecto de Reúso Integral de Aguas Residuales Tratadas de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

Tobón de Garza, Gloria (2012b), “Visita a la PTAR de Ramos Arizpe”, reporte incluido en los anexos de la segunda etapa del proyecto de Reúso Integral de Aguas Residuales Tratadas de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga.

Treviño Rodríguez, María Eugenia y Camilo Contreras Delgado (2001), “La administración pública del agua en Saltillo: Historia de su Institucionalización (1850-1880)”, libro publicado por el Gobierno del Estado de Coahuila y el Colegio de la Frontera Norte, disponible en la biblioteca del Archivo Municipal de Saltillo.

Unidad de Acceso a la Información del Mpio. de Saltillo (2012 y 2013), respuestas a solicitudes de información formuladas por Gloria Tobón de Garza.

Unidad de Acceso a la Información del Mpio. de Ramos Arizpe (2012 y 2013), respuestas a solicitudes de información formuladas por Gloria Tobón de Garza.

Valdés, Alfredo y Elsa Nadia Aguilera (2012), “Anexo F (Colectores) de la 1ª etapa del proyecto “Reúso Integral de Aguas Residuales Municipales Tratadas de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga”, presentado a Conacyt en mayo de 2012.

Aguirre Gutiérrez, Ricardo –ex–Alcalde de Ramos Arizpe, ex –Director de la Comisión de Agua y Saneamiento, CEAS, de Coahuila y Alcalde electo para el periodo 2014-2017 (2013), comunicación personal.

Garza Tobón, Daniel (1996), “Estudio Taxonómico-Ecológico de las Aves de ‘El Tulillo’, General Cepeda, Coahuila, México”, tesis presentada para optar por el título de Biólogo, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Herrera Márquez, José Alfredo (2002), Determinación de indicadores de calidad del agua en el arroyo del Pueblo”, tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Agrónomo con especialidad en Irrigación.

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Coahuila, publicado el 2/6/1943, “Solicitud de dotación de aguas para el ejido Higo y la Hacienda Calandrias”.

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Coahuila, publicado el 16/12/1944, "Solicitud de Dotación de agua para el ejido Mesillas" y Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Coahuila, publicado el 23/5/1951, "Dotación de agua para el ejido Higo Mesillas".

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Coahuila, publicado el 29/6/1979, "Solicitud de Dotación de agua para el ejido Paredón".

Secretaría de Educación y Cultura de Coahuila (2008), "COAHUILA – Un pasado con visión de futuro", libro de texto para el primer grado de Educación Secundaria.

Rascón Alvarado, Emilio, Edmundo Peña Cervantes, Eduardo Alberto Narro Farías, Javier de Jesús Cortés Bracho (2004), "Caracterización de Aguas Residuales de Generación Común en la Zona Saltillo – Ramos Arizpe", publicado en Ingeniería Agrícola, pp. 79-82.

Ruíz Morales, Bertín (2013), "Estudio socio-económico de los pequeños propietarios que tienen propiedades adyacentes al arroyo La Encantada", Depto. de Estudios Socio-Económicos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo.

Samaniego Moreno, Luis (2013), "Efecto del reúso de las aguas residuales sobre la productividad en maíz y posible salinización del suelo irrigado", capítulo del reporte final de la tercera etapa del proyecto de "Reúso Integral de las Aguas Residuales Tratadas de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga".

Saucedo García, José Darío (2008), "El Arroyo Del Pueblo - El cauce que una vez fue río", documento consultado en la Biblioteca del Archivo Municipal de Saltillo.

Tobón de Garza, Gloria (2012), "Estudio Socio-Económico de los Ejidatarios y Vecindados que Riegan con Agua del Arroyo La Encantada", Anexo A del reporte de la 2ª etapa.

Tobón de Garza, Gloria (2012), "Reúso público urbano de las aguas residuales tratadas de las Plantas Principal y del Gran Bosque Urbano de Saltillo y de la Planta de Ramos Arizpe", Anexo D del reporte de la 2ª etapa.

Estudio de la aportación de agua residual que llega a la PTAR Principal de Saltillo de los colectores oriente y poniente, Anexo E del Informe Técnico de Avance Etapa del Proyecto COAH-2010-C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Abril 2012.

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, contenido de metales pesados, volúmenes tratados y de venta de las aguas residuales que tratan las PTARs de Saltillo y Ramos Arizpe, Anexo D del Informe Técnico de Avance Etapa I: Proyecto COAH-2010-C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Abril 2012.

Municipio de Saltillo (2004), "Contrato de prestación de servicios del saneamiento integral de las aguas residuales del municipio de Saltillo", firmado entre el municipio de Saltillo y la empresa Ideal saneamiento de Saltillo.

Municipio de Ramos Arizpe (2007), "Contrato para la concesión de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y la venta del agua tratada en la Ciudad de Ramos Arizpe" firmado entre el Municipio de Ramos Arizpe y la empresa DOMOS.

Diagnóstico preliminar de la situación de las aguas residuales en Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga, Anexo J del Informe Técnico de Avance Etapa I del Proyecto COAH-2010-C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Abril 2012.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de abril de 1993.

Mpio. de Ramos Arizpe (2009), Datos de flujos y calidades de aguas de alimentación y tratadas de la PTARM Principal y del Gran Bosque Urbano, obtenidos por medio de una solicitud de información a través de InfoCoahuila.

Uso agrícola y calidad de las aguas del arroyo La Encantada, Anexo F del Informe Técnico de Avance Etapa I del Proyecto COAH-2010-C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Abril 2012.

Estudio socio-económico de los ejidatarios y avocados que riegan con agua del arroyo La Encantada, Anexo A del Informe Técnico de Avance Etapa II del Proyecto COAH-2010-C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Noviembre 2012.

Uso industrial y calidad de las aguas residuales tratadas de las Plantas Principal de Saltillo y de la Planta de Ramos Arizpe, Anexo H del Informe Técnico de Avance Etapa I del Proyecto COAH-2010-C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Abril 2012.

Consumo potencial de Aguas Residuales Municipales Tratadas por el sector industrial, Anexo B del Informe Técnico de Avance Etapa II del Proyecto COAH-2010_C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Noviembre 2012.

Resumen 5º Foro “Reúso integral de Aguas Residuales Municipales Tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga”, Anexo C del Informe Técnico de Avance Etapa II del Proyecto COAH-2010_C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Noviembre 2012.

Reúso urbano, ambiental y recreativo de las aguas residuales tratadas de las Plantas Principal y del Gran Bosque Urbano de Saltillo y de la Planta de Ramos Arizpe, Anexo G del Informe Técnico de Avance Etapa I del Proyecto COAH-2010-C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Abril 2012.

Reúso público urbano de las aguas residuales tratadas de las Plantas Principal y del Gran Bosque Urbano de Saltillo y de la Planta de Ramos Arizpe, Anexo D del Informe Técnico de Avance Etapa II del Proyecto COAH-2010_C14_149646: Plan integral de reúso de las aguas residuales municipales tratadas (ARMT) de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga. Noviembre 2012.

Unidad de acceso a información. Gobierno Municipal de Saltillo ICS/45/2013

CNA/ aguas nacionales / disponibilidad por acuíferos.