



EL COLEGIO
DE SONORA

Fracasos, extravíos y logros del saneamiento en Hermosillo

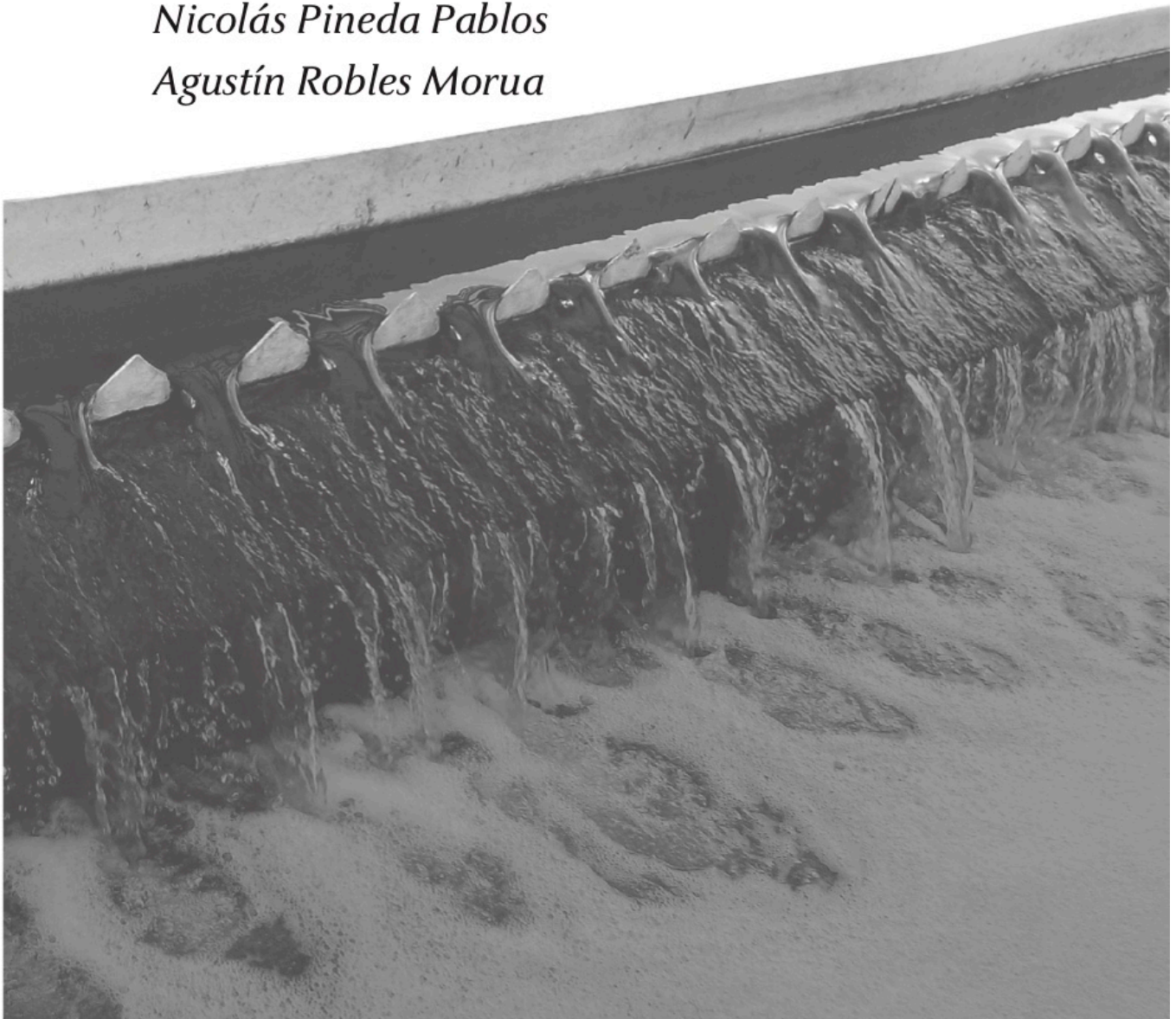
*Nicolás
Pineda Pablos
Agustín
Robles Morua*



Fracasos, extravíos y logros

del saneamiento en Hermosillo

Nicolás Pineda Pablos
Agustín Robles Morua



Catalogación en la publicación Biblioteca Gerardo Cornejo Murrieta

Catalogación en la publicación Biblioteca Gerardo Cornejo Murrieta

Nombre(s): Pineda Pablos, Nicolás | Robles Morua, Agustín, autores.

Título: Fracasos, extravíos y logros del saneamiento en Hermosillo / Nicolás Pineda Pablos, Agustín Robles Morua.

Descripción: Primera edición | Hermosillo, Sonora, México : El Colegio de Sonora, 2022.

188 páginas ; ilustraciones : 22 cm.

Incluye referencias bibliográficas.

Identificador: 978-607-8809-19-6

Temas: LCSH: Aguas residuales -- Tratamiento -- Sonora -- Hermosillo | Drenaje -- Sonora -- Hermosillo | Alcantarillado -- Sonora -- Hermosillo | Aguas residuales -- Leyes y legislación -- México | Reutilización del agua -- Sonora -- Hermosillo.

Clasificación: LCC: TD745 .P55 2022

ISBN: 978-607-8809-25-7 (PDF)



El Colegio de Sonora
Doctor Juan Poom Medina
Rector

Doctor José Luis Moreno Vázquez
Director de Publicaciones no Periódicas

Doctora Patricia Aranda Gallegos
Encargada de despacho
Departamento de Difusión Cultural

ISBN: 978-607-8809-19-6

Primera edición, D. R. © 2022
El Colegio de Sonora
Obregón 54, Centro, C. P. 83000
Hermosillo, Sonora, México
<https://www.colson.edu.mx>
publicaciones@colson.edu.mx

Hecho en México / *Made in Mexico*

ÍNDICE

Principales siglas y abreviaturas.....	5
Prólogo.....	7
1. Introducción	10
Referencias.....	12
2. La gestión de las aguas residuales y el saneamiento.....	13
2.1. Paradigmas del saneamiento de las aguas residuales urbanas.....	13
2.2. Conceptos básicos del saneamiento de las aguas residuales urbanas.....	17
2.2.1. <i>Drenaje y alcantarillado</i>	17
2.2.2. <i>Tratamiento de las aguas residuales</i>	17
2.2.3. <i>Reúso y reclamación del agua residual tratada</i>	23
Referencias.....	25
3. La política mexicana en materia de tratamiento de las aguas residuales urbanas.....	27
3.1. Legislación federal en materia de saneamiento	27
3.2. Normas mexicanas	28
3.3. Dos décadas de implementación de la política de saneamiento	32
3.4. Comentarios finales.....	37
Referencias.....	38
4. Drenaje y alcantarillado sanitario de Hermosillo.....	39
4.1. Antecedentes e inicios del drenaje	39
4.2. El drenaje durante la gestión de la Junta Federal de Agua.....	41
4.3. El drenaje durante la gestión de la COAPAES.....	42
4.4. El drenaje del organismo Agua de Hermosillo	45
4.4.1. <i>Población sin servicio de drenaje</i>	45

4.4.2. Red de atarjeas y alcantarillado	47
4.4.3. Las cuencas de drenaje	49
4.4.4. Subcolectores y colectores.....	50
4.5. Producción de aguas residuales en el periodo 2002-2011.....	54
Referencias.....	56
5. El tratamiento de las aguas residuales de Hermosillo.....	59
5.1. El primer intento: la planta de Protexa 1993-1997	60
5.1.1. La danza de los terrenos del ejido La Manga	62
5.1.2. Complicaciones financieras retrasan la obra.....	64
5.1.3. Suspensión y saldo financiero de la obra.....	65
5.2. El segundo intento: descentralización del saneamiento (1999-2006)	68
5.2.1. Los conflictos por las plantas de la Unison y de Bachoco.....	68
5.2.2. Otras pequeñas plantas públicas y privadas.....	71
5.3. Tercer intento: la PTAR Hermosillo	75
5.3.1. El Plan Integral de Saneamiento de la COCEF de 2005.....	75
5.3.2. Estudios preliminares en el trienio 2006-2009	78
5.3.3. Licitación de la PTAR en 2010.....	79
5.3.4. Certificación de la COCEF en 2011.....	81
5.3.5. Contrato de construcción y operación en 2012.....	85
5.3.6. Construcción de la PTAR.....	88
5.3.7. Operación y auditorías de la PTAR Hermosillo	89
Referencias.....	94
6. Reutilización de las aguas residuales.....	97
6.1. Los ejidos al poniente de Hermosillo.....	97
6.2. El reúso ejidal de las aguas residuales.....	99
Referencias.....	105
A manera de conclusión.....	106
Anexo.....	111
Colofón.....	116

PRINCIPALES SIGLAS Y ABREVIATURAS

Aguahh	Agua de Hermosillo para los Hermosillenses (organismo operador)
Aguah	Agua de Hermosillo (organismo operador)
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, SNC.
BDAN	Banco de Desarrollo de América del Norte
BOGES	Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora
BOT	Construir, operar y transferir (Build, Operate, Transfer)
CEA	Comisión Estatal de Agua
CEDH	Comisión Estatal de Derechos Humanos
CFE	Comisión Federal de Electricidad
COAPAES	Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora
COCEF	Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días
DOF	Diario Oficial de la Federación
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPA	Environmental Protection Agency
FIFONAFE	Fideicomiso Fondo Nacional de Fomento Ejidal
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura
IMPLAN	Instituto Municipal de Planeación
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INPC	Índice Nacional de Precios al Consumidor
IVA	Impuesto al Valor Agregado
LAN	Ley de Aguas Nacionales
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
PAN	Partido Acción Nacional

PRI	Partido Revolucionario Institucional
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RAN	Registro Agrario Nacional
SAPI	Sociedad Anónima Promotora de Inversión
SAGARHPA-Sonora	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura del Gobierno del Estado de Sonora
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
SINA	Sistema Nacional de Información del Agua
SIUE	Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología del Estado de Sonora
SPF	Secretaría de la Función Pública
SST	Sólidos suspendidos totales
TIASA	Tecnología e Ingeniería Avanzada, S.A. de C.V. (empresa constructora de PTAR 1994-1997)
TIAR	Empresa concesionaria constituida por Fypasa como Sociedad Anónima Promotora de Inversión
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
Unison	Universidad de Sonora

Abreviaturas

Art.	Artículo
cm	Centímetro
ha	Hectárea
hm ³	Hectómetros cúbicos (millón de metros cúbicos)
km	Kilómetros
lps	Litros por segundo
m	Metros
m ³	Metros cúbicos (mil litros)
mg	Miligramos
Mm ³	Millones de metros cúbicos
msnm	Metros sobre el nivel del mar
n.d.	No disponible
Ssp	Especies

PRÓLOGO

SANEAMIENTO: LA PRÓXIMA PIEDRA ANGULAR DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

El desarrollo y dinamismo urbanos, la producción agrícola y la seguridad alimentaria regional, la producción y seguridad de la energía y, ciertamente, la necesaria resiliencia de los ecosistemas que sostienen estos servicios son facetas integrales de la seguridad hídrica. A su vez, esta se basa no solo en la oferta y demanda de este recurso vital, sino también –como lo señaló el artículo de referencia “Sink or Swim? Water security for growth and development”, de David Grey y Claudia W. Sadoff (2007)– en la suficiencia de agua tanto en condiciones de escasez como ante el riesgo del exceso. Estos excesos adoptan dos formas: primero, el producido por inundaciones y condiciones riesgosas; segundo, y de relevancia directa para el presente libro, los riesgos crónicos e insidiosos que resultan del deterioro de la calidad del agua, tanto en aquella que abastece a las poblaciones humanas como en la de los ecosistemas. En este sentido, un conjunto de prácticas, infraestructuras y políticas públicas de saneamiento y reúso del agua vincula la adecuación del abasto de agua y la calidad de la que se reutiliza. En el centro de la seguridad hídrica en las regiones con escasez de agua, como el noroeste de México, está el saneamiento.

Fracasos, extravíos y logros del saneamiento en Hermosillo presenta una investigación y análisis crítico innovador orientado a la política y enfocado en el impacto. Nicolás Pineda y Agustín Robles ofrecen un trabajo muy oportuno, su revisión del saneamiento es de importancia crucial para Hermosillo, Sonora, y por extensión también para los dinámicos centros urbanos de rápido crecimiento del noroeste de México, así como para las regiones áridas en general, pues hay múltiples factores que hacen relevante el saneamiento en ellas. Primero, el cambio climático y el proceso de aridificación que afectan a la zona transfronteriza de México y a los Estados Unidos, por lo que atrapar y reusar el agua “desechada” es de esencial trascendencia. Segundo, el crecimiento urbano y el dinamismo económico requieren un uso muy razonado del agua residual, con el tratamiento apropiado, como se revisa en este libro, mientras, por supuesto, mejora la demanda de agua. Tercero, la sobreexplotación de acuíferos que proveen de agua a la ciudad y su aparentemente inevitable agotamiento deben ser atendidos por medio de una serie de prácticas, inversiones y acciones reglamentarias, que incluyan la reutilización del líquido. Finalmente, el tema del saneamiento, a causa de su poca visibilidad y de la reacción visceral al drenaje y las aguas sucias, se ha convertido en un desafío de política pública que es inapropiadamente atendido y monitoreado. Sin embargo, el saneamiento es una acción muy prometedora para atacar futuros problemas de disponibilidad de agua; por ejemplo, la recarga de acuíferos con aguas residuales recuperadas (como se hace en la ciudad de Tucson, Arizona, en Israel y en otros lugares con escasez de agua) es fundamental para definir el camino a seguir en Hermosillo.

Nicolás Pineda, como primer autor de este trabajo, es un analista de políticas públicas, pionero que ha estado abordando los desafíos clave del desarrollo y del agua de Hermosillo, así como de otras ciudades en el noroeste mexicano y a nivel mundial, gracias al papel clave que ha desempeñado en la red de seguridad hídrica AQUASEC, incluido su liderazgo en investigación aplicada con apoyo internacional. Pineda ha venido publicando comentarios perspicaces sobre la gestión del agua en la región, desde su tesis doctoral que defendió en 1999 hasta el presente volumen, y espero que todavía venga una variedad de nuevos análisis. Tiene una amplia gama de publicaciones sobre la gestión del agua urbana y participa en una extensa red de profesionales de la investigación y las políticas, que elevan colectivamente sus calificaciones y los méritos del análisis del libro sobre saneamiento en Hermosillo.

Quizás lo más importante es que *Fracasos, extravíos y logros* hace un seguimiento de los fallos pasados y los oscuros antecedentes de la gestión de aguas residuales y la política de saneamiento, como una manera de aprender de las experiencias anteriores y prevenir futuros errores en la política y la práctica. Este libro revisa la cancelación en 1997 de la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Hermosillo debido a la crisis financiera. Dicho proyecto de obra pública es especialmente importante porque careció de transparencia, no fue publicitado y ahora está relegado al basurero de la historia. También llama la atención sobre el intento de los años 1999 a 2001 de descentralizar el tratamiento de aguas residuales por medio de pequeñas plantas distribuidas en diversas zonas de la ciudad de Hermosillo; aunque constituía una buena estrategia, enfrentó una feroz oposición y también fue suspendida. Además, el libro presenta la reutilización de aguas residuales crudas y sin tratar en la agricultura, que es anterior a la campaña de saneamiento y hasta el día de hoy continúa siendo practicada por los agricultores ejidales periurbanos en el lado oeste, río abajo de la ciudad.

La estructura y el flujo del libro lo hacen accesible tanto para los expertos científicos como para los responsables de la formulación de políticas. Después de cubrir primero los enfoques y conceptos básicos del saneamiento urbano, se revisa la política pública de México sobre el tratamiento del agua, tomando en cuenta las dimensiones legislativas, regulatorias y de inversión en infraestructura. Vinculando el tratamiento con la recolección de aguas residuales, esta publicación aborda los antecedentes institucionales del saneamiento y el drenaje urbano en Hermosillo a nivel federal, estatal y municipal. Se presentan datos sobre la generación histórica de aguas residuales relacionados con las tres etapas por las que han pasado los proyectos de saneamiento en la ciudad, que son la planta de Protexa (1993-1997), la propuesta de saneamiento descentralizado (1999-2006) y el proceso de licitación y construcción de la actual planta de tratamiento de aguas residuales de Hermosillo (2006-2020). Estas etapas se evalúan en el contexto del siempre presente tratamiento real que ocurre a través de la reutilización agrícola de las aguas residuales, en este caso los ejidatarios aguas abajo de la ciudad. En lugar de ser sancionados, los ejidos río abajo deben ser integrados al saneamiento basado en infraestructura. En este sentido, la experiencia de Hermosillo y el noroeste de México es ampliamente representativa del saneamiento urbano como un componente central de la política de seguridad hídrica en regiones con escasez de agua en el mundo. Iniciativas similares y relevantes han sido documentadas por mis colegas –y aquí incluyo a Nicolás Pineda– en las Américas áridas, así como en Medio Oriente y el sur de Asia.

El libro registra el largo y sinuoso camino que tuvo que recorrer el actual sistema de saneamiento, incluida la planta de tratamiento de aguas residuales de Hermosillo, para entrar en funcionamiento. Hubo dos convocatorias de licitación que fueron impugnadas en los tribunales y la tercera tuvo que culminar con una adjudicación directa del contrato. Todas estas vivencias deben ser conservadas en la memoria de las políticas

públicas para que no se repitan errores y no se pierdan los aprendizajes actuales y por venir. Por último, pero no menos importante, esta publicación es un llamado a aprovechar los efluentes tratados como un recurso valioso, medular para la seguridad hídrica, que hasta ahora se ha considerado un desperdicio y una molestia que debe eliminarse. Al final, este recurso podría ser el futuro salvavidas de Hermosillo.

Christopher A. Scott

Pennsylvania, Estados Unidos

septiembre de 2022

1. INTRODUCCIÓN

El futuro de Hermosillo radica en la incorporación de estrategias enfocadas en aumentar la disponibilidad de agua, entre las que destacan la reutilización de las aguas residuales, y en elevar el almacenamiento en los acuíferos, a través de infraestructura de recarga. Siendo una ciudad que ha agotado las fuentes de suministro de agua superficial y subterráneas, dado su entorno desértico, sus únicas opciones de incrementar el agua disponible para alcanzar sus objetivos de crecimiento, desarrollo, competitividad y sustentabilidad están en el reúso de sus aguas residuales y promover la recarga de los acuíferos, a través de esquemas de intercambio de agua entre los principales usuarios. Este libro se concentra en revisar los antecedentes de la gestión de las aguas residuales en la ciudad de Hermosillo, como una plataforma sobre la cual habrá que construir estrategias y políticas de reutilización de las aguas residuales, concibiéndolas como un recurso que debe aprovecharse.

“En un mundo donde la demanda de agua dulce está en constante aumento y los recursos hídricos se vuelven cada vez más escasos por la captación excesiva, la contaminación y el cambio climático, es sencillamente impensable no aprovechar las oportunidades que brinda una mejor gestión de las aguas residuales” (WWAP, 2017, p. 12). Con estas palabras concluye el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017, en el que se destaca la imperiosa necesidad de mejorar la gestión de aguas residuales para hacer más habitable y sustentable nuestro mundo. Si continuamos actuando como “de costumbre” estaremos fomentando un mayor deterioro de la situación.

Durante la mayor parte de la historia de la ciudad, las aguas residuales han sido consideradas simplemente agua sucia que debe ser desechada y alejada a donde nadie la vea, ni volver a saber de ella; una idea de manejo de las aguas residuales que está arraigada desde la fundación de las primeras ciudades del planeta. Sin embargo, esta concepción está cambiando porque la escasez de agua aumenta a medida que la ciudad crece y se comienza a reconocer la importancia de la recolección, tratamiento y reutilización de las aguas residuales. A pesar de este cambio de concepción y de que desde los años 80 la legislación mexicana reconoció la necesidad de contar con tratamiento de aguas residuales en todas las ciudades, Hermosillo tardó más de 30 años para contar con una planta de tratamiento que limpiara la mayor parte de sus aguas, pero aun así subsisten los problemas y no es seguro que la planta se mantenga operando.

Este trabajo se comenzó a escribir en 2001, al visitar las ruinas de la obra negra de la planta de Protexa, al poniente del aeropuerto de Hermosillo, cuya construcción se suspendió en 1997. Desde entonces Nicolás Pineda comenzó a reunir información sobre la situación y la cancelación de dicha planta y los diferentes esfuerzos e intentos que ha habido para llevar a cabo el saneamiento en la ciudad. En 2003, Agustín Robles emprendió el trabajo de diseñar durante sus estudios de posgrado en Ingeniería ambiental una red de drenaje y un humedal artificial de flujo sumergido de tratamiento de aguas residuales que permitiría dotar de un recurso al pueblo de Rosario Tesopaco (Robles-Morua, Mayer y Durfee, 2009). Posteriormente, analizó los impactos de las aguas

residuales en todas las comunidades del río Sonora (Robles-Morua, Halvorsen y Mayer, 2011; Robles-Morua, Mayer, Auer y Vivoni, 2012) y aplicó el resultado a la problemática del tratamiento de las aguas residuales de todo el estado de Sonora. Desde entonces los autores han recopilados múltiples artículos sobre saneamiento, que aquí se tratan de presentar clara y ordenadamente.

El objetivo de este trabajo es meramente descriptivo y de ayuda a la memoria de las etapas y procesos por los que han pasado el drenaje y alcantarillado, el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales en la ciudad de Hermosillo, Sonora, durante su historia, con énfasis en las etapas recientes. Se trata principalmente de no olvidar el largo y tortuoso proceso por el que se ha transitado en la política de reciclar las aguas residuales de la ciudad. Existe la impresión de que muchos de los proyectos y esfuerzos emprendidos en materia de aguas residuales tienden a ser fácilmente olvidados y con ello persiste la tendencia a repetir los mismos errores y fracasos. También está la percepción de que, con mucha frecuencia, se dan facilidades y se construyen costosas obras de infraestructura que, una vez concluidas, no se operan y no se aprovechan lo suficiente. Esto transmite la idea de que dichas obras de infraestructura tienen estímulos para su construcción, pero no para su operación; se planea su construcción, pero no su mantenimiento a corto, mediano y largo plazo, y por lo tanto no son sustentables. Esta situación ocurre en la mayoría de las comunidades del estado de Sonora (Robles-Morua et al., 2011; 2012) y ya ha sido definida muy acertadamente como una “modernización defectuosa”, que también sucede en muchas otras partes del país (Simonelli, 1987; Tortajada, 2003). Al menos eso es lo que ha pasado con la mayoría de las plantas medianas y grandes de la ciudad. Los gobernantes tienen más empeño y orgullo en inaugurar una obra que en operarla.

Asimismo, se mantiene la preocupación de que se ha buscado con empeño tratar las aguas residuales y luego no se halla qué hacer con ellas. Los únicos usos que hasta ahora parecen haber perdurado son el agrícola, que le dan los ejidatarios en el cultivo de forrajes, y el que hacen los fraccionamientos de lujo para regar jardines y campos de golf con lagos artificiales, y más recientemente su empleo para enfriar calderas industriales. La ciudad y el gobierno municipal parecen enteramente pasmados en esta materia; como que no encuentran qué hacer o no saben por dónde empezar. El gobierno estatal, a pesar de tener la facultad de regular el desarrollo urbano, parece no haberse enterado del problema o no haberle encontrado la rentabilidad política o personal. La preocupación, entonces, es que la reutilización de las aguas residuales termine beneficiando solo a grupos privilegiados a través de desarrollos inmobiliarios de alta plusvalía, en vez de favorecer a la ciudad en su conjunto con más áreas verdes y con el reúso en actividades industriales que creen empleo. Es conocido, por ejemplo, el hecho de que las empresas cementeras ubicadas al oriente de la ciudad se han interesado en reutilizar las aguas tratadas, pero no han encontrado interlocutores con quienes impulsar su reutilización industrial. Agua de Hermosillo está enfrascada en la operación del día a día y la alta rotación de directivos que no les permite la planeación ni a mediano ni a largo plazo. Por lo tanto, este trabajo resume una memoria de ideas, proyectos, planes ambiciosos, intentos fallidos, cambios de rumbo y algunos logros que, vistos en retrospectiva, no han logrado ponerse a la altura de lo que la ciudad requiere.

Las preguntas que impulsaron este documento son: ¿Por qué tardó tanto la ciudad de Hermosillo en contar con una planta de tratamiento de aguas residuales? ¿Cómo se han aprovechado hasta ahora las aguas residuales de la ciudad? y ¿Qué puede aprenderse de los proyectos fallidos y de los fracasos en materia de saneamiento?

El trabajo está pensado más como memoria y referencia histórica que no exige una lectura corrida; está dividido en seis capítulos ordenados cronológicamente, pero que son relativamente independientes. El primero es

esta Introducción. El segundo hace un breve repaso y explicación de los conceptos y procedimientos del saneamiento. El tercero revisa la política de saneamiento en México; ahí se presentan las principales leyes y normas oficiales sobre la materia, así como estadísticas nacionales del tratamiento de aguas nacionales; los últimos tres apartados corresponden a las tres principales actividades del saneamiento de las aguas residuales en la ciudad de Hermosillo. De este modo, el cuarto habla sobre cómo se construyeron el drenaje y alcantarillado de la ciudad. El quinto capítulo se refiere al tratamiento y los diferentes planes y proyectos que ha habido en este rubro; aquí se exponen los fracasos y extravíos que dan título a este libro, hasta llegar a la construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Hermosillo. El sexto y último capítulo trata sobre la reutilización de las aguas residuales que históricamente han llevado a cabo los ejidos del poniente de la ciudad.

La información que aquí se presenta es producto de la recolección de datos y análisis de contenido documental, complementado con algunas entrevistas a actores clave. En la medida de lo posible se utilizaron fuentes de información oficiales y válidas. El trabajo está pensado para un público amplio y no solo para expertos o técnicos en el tema. Se trata fundamentalmente de dejar testimonio de los procesos transitados y de crear conciencia sobre la imperiosa necesidad del tratamiento y reutilización de las aguas residuales, tanto para la ciudad de Hermosillo, como para otras localidades en situación similar.

Referencias

- Robles-Morua, A. Mayer, A. y Durfee, M. (2009). Community Partnered Projects: A Case Study of a Collaborative Effort to Improve Sanitation in a Marginalized Community in Northwest Mexico. *Journal of Environment, Development and Sustainability*, 11(1), 197-213.
- Robles-Morua, A., Halvorsen, K. E. y Mayer, A. S. (2011). Waterborne Disease-Related Risk Perceptions in the Sonora River Basin, Mexico. *Risk Analysis*, 31(5), 866-878.
- Robles-Morua, A., Mayer, A. S., Auer, M. T. y Vivoni, E. R. (2012). Modeling riverine pathogen fate and transport in Mexican rural communities and its public health implications. *Journal of Environmental Management*, 113, 61-70.
- Simonelli, J. (1987). Defective modernization and health in Mexico. *Social Science & Medicine*, 24, 23-36.
- Tortajada, C. (2003). Policy failures prevent water quality progress in Mexico. *Water and Wastewater*, 18, 25-26.
- WWAP. (2017). *Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. Informe Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017. París: Unesco-Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas.

2. LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y EL SANEAMIENTO

En 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó 17 objetivos para lograr el desarrollo sustentable. El objetivo número 6 está enfocado en asegurar la disponibilidad y el acceso al agua potable y de calidad, así como en proveer servicios de saneamiento de las aguas residuales adecuados y equitativos para toda la población. Dicho propósito busca reducir la generación de aguas residuales no tratadas al 50% para el 2030 e incrementar el reúso y reciclado de las aguas residuales a nivel global. En 2015 se estimó que en el mundo cerca de 40% de la población aún carecía de acceso a fuentes de agua y que más del 80% de las aguas residuales generadas de las actividades humanas eran vertidas a ríos y mares sin ningún tratamiento (ONU, 2015). Globalmente, alrededor de 280 mil muertes anuales son atribuidas a enfermedades diarreicas vinculadas a agua contaminada y se ha estimado que las tasas de este tipo de enfermedades se pueden disminuir en alrededor de 35% con la implementación de tecnologías de saneamiento (Orner y Mihelcic, 2018).

En el presente capítulo se aborda el tema del saneamiento al que se refiere el objetivo 6 de desarrollo sustentable. Se trata de presentar las ideas y conceptos básicos que ayuden a su comprensión, así como los procesos y principales variables que concurren para que una ciudad o comunidad provea el servicio de saneamiento a todos sus habitantes. De manera resumida, se exponen primeramente los diferentes enfoques históricos sobre la gestión urbana del agua y del saneamiento de las aguas residuales. Después se repasan los conceptos básicos del *drenaje*, *alcantarillado*, *tratamiento* y *reúso* de las aguas residuales que sirven de base para la revisión de los procesos de remoción de contaminantes y, por último, se presentan las teorías con las cuales será analizada la política de saneamiento de las aguas residuales en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México.

2.1. Paradigmas del saneamiento de las aguas residuales urbanas

En este trabajo, cuando hablamos de saneamiento nos referimos a lo que la ONU llama el *saneamiento básico* o *saneamiento mejorado*, que define como “las instalaciones que aseguran una higiénica separación de los excrementos del contacto humano. En esta categoría se incluyen: inodoros o letrinas que vierten a un sistema de alcantarillado, a una fosa séptica o a una fosa de pozo simple” (ONU, 2014, párr. 6).

Acotando aún más el objeto de estudio, el libro aborda el tema del saneamiento a nivel de ciudades y comunidades, y no tanto a nivel micro o doméstico, como serían los temas de los inodoros, letrinas o fosas sépticas.

La situación y gestión del saneamiento urbano constituye un poderoso indicador del desarrollo humano en cualquier comunidad. El acceso al saneamiento genera beneficios a muchos niveles. La manera en que se eliminan los excrementos humanos es determinante en la supervivencia infantil; la transición del fecalismo y de un sistema

de saneamiento no mejorado a uno mejorado reduce la mortalidad infantil en una tercera parte. El saneamiento mejorado también conlleva ventajas para la salud pública, los medios de vida y la dignidad de las familias y las comunidades (ONU, 2014).

La gestión urbana del saneamiento ha ido cambiando y evolucionando conforme las ciudades han crecido y conforme avanzan la ingeniería y las tecnologías del manejo de las aguas. Una aproximación bastante certera de la gestión de las aguas residuales la ilustran Novotny, Ahern y Brown (2010) en su obra *Water Centric Sustainable Communities*, en la que describen el progreso en el manejo de las aguas residuales urbanas a través de cuatro paradigmas. Igualmente, Lofrano y Brown (2010), y más recientemente Orner y Mihelcic (2018), así como Fito y Van Hulle (2021) resumen adecuadamente la evolución de las estrategias sustentables de manejo de aguas residuales y su relación con el crecimiento de las ciudades, la planeación urbana y su reúso.

El primero de los paradigmas describe el periodo histórico donde el principal objetivo era simplemente el abasto básico de agua sin ningún tipo de saneamiento para las ciudades y surge en la antigüedad, a partir del establecimiento de los primeros asentamientos humanos. En esta etapa, la disponibilidad de las fuentes de agua y su aprovechamiento es relativamente fácil. En ese tiempo se aplicaron principios elementales de ingeniería en los diseños de sistemas de transporte de agua y drenaje. El saneamiento se lleva a cabo por medio de las calles, que son utilizadas para la movilización de los desechos. Ejemplos claros de estos diseños son algunas edificaciones en Atenas y Roma (que aún existen en la actualidad), en las que se construyeron drenajes para alejar las aguas residuales de los centros de población. Aun así, en este periodo las ciudades no eran lugares limpios, frecuentemente los puntos de descarga estaban próximos a la periferia de la ciudad, donde se destinaban desechos de animales e inclusive había población de las clases marginadas viviendo en ese mismo lugar, como clara muestra de desigualdad social. En las zonas en las que localmente no era posible proveer el agua, se construyeron túneles y acueductos para transportarla desde grandes distancias. Estos mecanismos son utilizados hoy en día en regiones de Asia (Novotny et al., 2010).

El segundo paradigma de Novotny et al. (2010) consiste en la introducción de infraestructura ingenieril para el abasto de agua y el drenaje o transporte de las aguas residuales fuera de la ciudad. Esta fase se caracteriza por el incremento en la demanda del agua, debido al crecimiento de las ciudades. En este periodo los avances en ingeniería civil ayudan a transportar el líquido a grandes distancias para aproximarla tanto a las ciudades como para facilitar su acceso y llevar a cabo actividades como la agricultura, el comercio, la regulación de cauces para la navegación y otras tareas humanas. En las ciudades se comienza a diseñar infraestructura para el almacenamiento de agua, como tanques y cisternas que permiten la distribución a través de tuberías. También en esta época se tienen los primeros sistemas rústicos de alcantarillado que desplazan las aguas provenientes de tormentas. En este periodo surgen los primeros diseños avanzados de alcantarillas para movilizar la contaminación generada en los edificios, la cual es conducida a los ríos o cuerpos de agua cercanos. La mayor parte de los desechos fecales son depositados en letrinas y las calles con frecuencia están contaminadas con basura y desechos (Novotny et al., 2010).

El tercer paradigma estriba en el abasto de agua y la introducción del tratamiento de las aguas residuales con base en infraestructura. De igual forma, en este periodo se registra una alta migración de la población rural hacia las zonas urbanas, un crecimiento acelerado de la industria y la inversión masiva de recursos financieros para construir sistemas de alcantarillado. Los sistemas de alcantarillas en esta época reciben afluentes de aguas residuales domésticas e industriales, los cuales comúnmente continúan siendo descargados a ríos, lagos y el mar,

sin ningún tipo de tratamiento previo, ocasionando contaminación a las principales fuentes de agua potable. En este periodo histórico surgen los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales, a finales del siglo XIX y principios del XX. Estos primeros sistemas constan principalmente en aplicar procesos naturales, como la sedimentación y la filtración. Igualmente, se empiezan a utilizar fosas sépticas que son conectadas a campos de infiltración, típicamente campos agrícolas donde se reutilizaba el agua residual para la irrigación de cultivos agrícolas. Posteriormente, en Estados Unidos y en Europa comienzan a emplearse tanques de separación de sólidos y surgen los primeros diseños basados en la digestión anaeróbica de las aguas residuales. Estos procesos biológicos consisten en la remoción de la materia orgánica y de otros residuos orgánicos. Aparecen las primeras aplicaciones de tecnologías que se usan de manera combinada: lodos activados, filtrado y lagunas de oxidación. En este periodo hay grandes avances en las ciudades para desplazar los volúmenes de aguas residuales y las aguas de lluvia, mediante sistemas de drenaje urbano que permiten el movimiento rápido de las aguas negras y evitan problemas a la salud humana. Sin embargo, dado el crecimiento poblacional y la alta demanda de agua, se producen grandes volúmenes de aguas residuales, de las cuales solo una fracción recibe tratamiento y esto trae graves consecuencias en los cuerpos receptores, ocasionando contaminación de ríos y lagos. Igualmente, surgen graves problemas de salud pública como epidemias de cólera, en donde las aguas residuales y los cuerpos de agua contaminados son el principal vehículo de contagio. Un ejemplo claro de estas complicaciones severas de salud pública es el cólera en Chicago, Estados Unidos, por la contaminación del Lago Míchigan (Novotny et al., 2010). Fue así que en 1850, en atención de estos problemas, en la ciudad de Chicago se instaló la primera planta de tratamiento de aguas residuales de gran escala. Desde 1880 y hasta la mitad del siglo XX, los esfuerzos para solucionar la contaminación del agua se concentraron en los contaminantes sólidos, patógenos y sustancias orgánicas (exceso de nutrientes). Durante este periodo el tratamiento de las aguas residuales estuvo basado en procesos primarios y secundarios de tratamiento (Novotny et al., 2010). Los primarios consisten en la remoción de sólidos, de arenas y gravas por medio de sedimentación, flotación y coagulación (floculación y filtración). Los secundarios radicaban en la introducción de lodos activados, sistemas de oxidación que utilizan filtros aireados y reactores biológicos de membranas. Estos avances en el manejo de las aguas residuales y la gestión del agua en general estuvieron acompañados por cambios institucionales, como el establecimiento de regulaciones normativas para el control de los contaminantes y el involucramiento de los gobiernos en la atención de los problemas de salud pública y los daños a los ecosistemas.

El cuarto y más reciente paradigma que nos presentan Novotny et al. (2010) es el surgimiento del reúso y avance de la gestión integral del agua y de su nexa con la energía. Este nuevo paradigma se basa en la premisa de que las aguas urbanas son la línea de vida de las ciudades y el enfoque del movimiento actual de ciudades sustentables. Bajo este modelo, también conocido como de “economía circular” (ONU, 2021), el agua tratada y los desechos sólidos se convierten en un recurso que puede ser utilizado para proporcionar agua, energía, calor (electricidad, biogás, hidrógeno), fertilizantes y materia cruda a procesos industriales. Los términos *agua residual* o *desechos* son reemplazados por *agua usada*, *agua reclamada* y *recuperación de recursos*. Estos cambios se logran al incorporar sistemas híbridos donde el tratamiento de aguas residuales se hace a través de sistemas parcial o totalmente descentralizados que permiten separar las aguas residuales domésticas, industriales y pluviales, posibilitando la recuperación y el reúso del agua tratada en lugares cercanos al proceso de tratamiento (reutilización en el sitio). Igualmente, en la recuperación y reutilización de residuos sólidos y la generación de energía a través del tratamiento de aguas residuales.

El futuro de la urbanización sustentable, como lo mencionan Novotny et al. (2010) es, sin duda, buscar un cambio del empleo masivo de energías y la reducción de grandes emisiones de gases de efecto invernadero hacia sistemas de emisiones neutrales (neutralidad de carbono) o “cero balances” de emisiones. Estos sistemas integrados no solo incluyen el abastecimiento de agua y su tratamiento, sino también su transporte urbano y suburbano, el calentamiento y enfriamiento, la ecología, la protección y el redescubrimiento de los cambios de uso de suelo de la superficie urbana y su conexión con los sistemas naturales que abastecen de agua, en particular el agua subterránea. También toman en cuenta la incorporación explícita de los servicios ambientales urbanos de recreación y cultura del agua para la población. Los conceptos clave para la integración del agua urbana, manejo del agua y de la energía son: *a)* no existen desechos, solamente recursos; y *b)* la optimización de recursos requiere una integración en el manejo del agua y de la energía que se utiliza para su administración, al mismo tiempo que se considera la resiliencia ecológica y social de las ciudades.

A partir de la década de los setenta del siglo XX y bajo este cuarto paradigma se introdujeron parámetros de calidad en el abasto de agua y en el tratamiento y reúso de las aguas residuales como un recurso y aumento del agua disponible para las ciudades. Se crearon nuevas leyes a nivel internacional, como la Ley de Aguas Limpias (*Clean Water Act*) en los Estados Unidos de Norteamérica, disposición que no solo tuvo impacto en ese país, sino que sirvió de ejemplo a otros para adoptar legislaciones propias respecto del agua y el manejo de las aguas residuales. Debido a las nuevas normativas, se llevaron a cabo fuertes inversiones y trabajos de investigación para crear las infraestructuras de tratamiento que permitieran cumplir con los nuevos estándares. Las investigaciones en relación con contaminantes emergentes y su reutilización en procesos productivos continúan actualmente. En este nuevo paradigma participa personal calificado y entrenado específicamente para llevar a cabo tratamientos avanzados y poder lograr un aprovechamiento de las aguas tratadas. Tenemos muchos ejemplos, pero ciudades como Tucson, Arizona, logran reutilizar hasta 90% de las aguas residuales tratadas, las cuales se destinan a la irrigación de parques y otras áreas verdes, y más recientemente para la recarga artificial de acuíferos (Novotny et al., 2010).

La infraestructura de tratamiento previo a los años 70 resultaba menos eficiente, ya que dependía de un consumo muy alto de energía y muy poco reúso. En general en este cuarto paradigma las principales ciudades que logran grandes avances se encuentran en Estados Unidos, Europa, algunas regiones de Asia y Australia, las cuales combinan el crecimiento de sus economías y el control de los contaminantes con reglas normativas en las que se aborda integralmente la sustentabilidad urbana. Adicionalmente, como parte del mundo moderno se presentan otros retos en el tratamiento de nuevos contaminantes emergentes, como los fármacos o los microplásticos, que en muchos procesos de tratamiento pasan sin ser removidos.

En ese contexto, en la actualidad nos encontramos transitando a un quinto paradigma en la gestión del agua y el tratamiento de aguas residuales, en el que se establece una interconexión entre los objetivos de ciudades verdes y las infraestructuras de aguas ecológicamente sustentables, armoniosas con el entorno y resilientes a los impactos del cambio climático. En esta idea de creación de ciudades ecológicas, el principal enfoque está en la búsqueda de una gestión descentralizada que promueve ante todo cero emisiones de gases de efecto invernadero y busca la implementación de tecnologías de saneamiento que permitan la reutilización de recursos (Fito y Van Hulle, 2020; Orner y Mihelcic, 2018).

El saneamiento ha recorrido ya un largo camino desde las primeras ciudades hasta la actualidad. Muchas en países en desarrollo se encuentran todavía en el segundo o tercer paradigma y no han logrado avanzar hacia la consideración de las aguas residuales como un recurso y como fuente de energía. En los siguientes apartados se

profundiza un poco más en la descripción de los procesos de tratamiento de las aguas residuales y las modalidades que tiene la gestión urbana del saneamiento.

2.2. Conceptos básicos del saneamiento de las aguas residuales urbanas

A fin de analizar la evolución y alternativas de una ciudad particular en materia de saneamiento, es pertinente ahondar en el conocimiento de la gestión y del proceso de tratamiento de las aguas residuales urbanas. En este apartado abordamos los temas del drenaje y el alcantarillado, las diversas opciones y niveles en materia de tratamiento de las aguas residuales, así como su posible reúso y reclamación como un recurso y fuente de energía.

2.2.1. Drenaje y alcantarillado

El concepto de *drenaje* se refiere, comúnmente, al desalojo de líquidos de una cuenca. La denominación *alcantarillado* alude al conjunto de conductos que conforman el sistema de drenaje. En un asentamiento humano, el sistema de drenaje y alcantarillado consiste en una red de tuberías, obras de ingeniería y procesos que permiten la remoción, recolección, transporte y manejo de las aguas residuales y pluviales en una ciudad. El propósito básico de la red de drenaje y alcantarillado es recolectar los desechos de agua provenientes de las viviendas (aguas residuales domésticas), de la industria y comercios, a fin de propiciar un ambiente urbano más sano y saludable. En este trabajo usaremos el término de *alcantarillado sanitario* para referirnos a los sistemas que manejan de manera separada las aguas residuales domésticas de una ciudad o asentamiento humano.

En la actualidad, se busca construir sistemas separados de alcantarillado sanitario y de drenaje pluvial. De modo que el sistema de alcantarillado sanitario transporte exclusivamente los desechos de aguas residuales hacia las plantas de tratamiento. Algunas ciudades cuentan con sistemas que pueden soportar o tienen la capacidad de manejar de manera conjunta las aguas pluviales y las aguas residuales; sin embargo, el tratamiento adicional de las aguas pluviales hace que su diseño, construcción, operación y mantenimiento sea muy costoso y que demanden mucha energía. Por eso se opta por sistemas independientes, en los que las aguas residuales y las pluviales se tratan por separado.

2.2.2. Tratamiento de las aguas residuales

Después de utilizar el agua suministrada en las tareas del hogar, el comercio y la industria, esta se convierte en agua residual. Por su origen, el mayor volumen comúnmente es de carácter doméstico e industrial. Por aguas residuales domésticas se entienden aquellas que resultan de las actividades llevadas a cabo en el hogar, como son el uso de las instalaciones sanitarias, el lavado de ropa y en la cocina; se componen principalmente por sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, nutrientes y organismos patógenos (Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi y Burton, 2013). Por otro lado, las aguas industriales son aquellas que provienen de los procesos de la industria y la manufactura, estas son aún más riesgosas porque contienen sustancias y metales tóxicos que requieren ser separados antes de entregarlas al sistema urbano de alcantarillado (Tchobanoglous et al., 2013).

Las principales características de preocupación en el agua residual son los sólidos suspendidos, las sustancias orgánicas biodegradables y las refractarias, los elementos patógenos, los nutrientes, los metales pesados, los componentes inorgánicos y los llamados contaminantes emergentes.

Es importante recalcar que en la actualidad, debido a las transformaciones y avances en los procesos industriales y de manufactura, las características de los compuestos de las aguas residuales siguen cambiando. Esto, en combinación con avances en métodos analíticos, ha ocasionado que el listado de contaminantes emergentes siga incrementándose y el estado del arte del tratamiento de aguas residuales continúe evolucionando, principalmente en el diseño de sistemas capaces de remover microcontaminantes prioritarios y emergentes. Por lo anterior, el diseño adecuado de sistemas de tratamiento debe de incluir estudios de caracterización detallados de los diferentes compuestos presentes en el agua residual. La caracterización del agua residual, antes y después de su tratamiento, y el tipo de reutilización es lo que determina los métodos e infraestructura necesarios para remover los contaminantes. La pregunta más importante al decidir el tipo de tratamiento de las aguas residuales depende del nivel de remoción de los compuestos presentes en el agua, el propósito de su reutilización y del lugar al cual serán vertidas las descargas del agua tratada.

Tabla 2.1. Compuestos principales que se encuentran en las aguas residuales

Compuesto	Razón de su importancia
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden generar depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) cuando el agua residual es descargada sin ningún tratamiento en sistemas acuáticos.
Orgánicos biodegradables	Compuestos principalmente por aguas residuales que tienen una alta concentración de proteínas, carbohidratos y grasas. Estos compuestos son medidos típicamente a través de indicadores como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Si son descargados al medio ambiente sin tratamiento, la estabilización biológica puede ocasionar el agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y la creación de condiciones sépticas.
Patógenos	Los patógenos son agentes infecciosos que se encuentran presentes en el agua residual y que pueden provocar enfermedades. Los principales patógenos bacterianos en las aguas residuales incluyen <i>Salmonella spp.</i> , <i>Escherichia spp.</i> , <i>Shigella spp.</i> , <i>Yersinia spp.</i> , <i>Klebsiella spp.</i> , <i>Leptospira spp.</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Legionella pneumophila</i> , <i>Mycobacterium spp.</i> y <i>pseudomonas</i> .
Nutrientes	Principalmente fósforo y nitrógeno, así como carbón, son considerados nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento de todos los organismos. Cuando se descargan en cantidades excesivas en medios acuáticos pueden ocasionar la desaparición total de la vida en cuerpos de agua.
Contaminantes de prioridad	Consisten en compuestos orgánicos e inorgánicos que son considerados con base en su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o una toxicidad aguda muy elevada. Actualmente, la Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos tiene una lista de 129 contaminantes de prioridad.
Orgánicos refractarios	Este tipo de compuestos orgánicos tiene la capacidad de resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Algunos ejemplos son surfactantes, fenoles y pesticidas.
Metales pesados	Los metales pesados se encuentran en el agua residual comúnmente debido a las descargas de comercios e industria. Deben ser removidos si se planea reutilizar el agua, ya que pueden ocasionar graves problemas de salud.
Inorgánicos disueltos	Los compuestos inorgánicos disueltos, como el calcio, sodio y los sulfatos, se encuentran presentes en el agua residual a raíz de que se agregan típicamente en los procesos de purificación del agua potable. Deben ser removidos si se planea reutilizar el agua.
Contaminantes emergentes	Incluyen principalmente productos químicos que se encuentran en productos farmacéuticos, industriales y domésticos, para el cuidado personal, pesticidas, microplásticos, metales, surfactantes, aditivos industriales y disolventes.

Fuente: Elaboración propia con base en Tchobanoglous et al. (2013, pp. 30-32)

Para comprender los sistemas de tratamiento de las aguas residuales debemos considerarlos como una serie de procesos interconectados sucesivamente que permiten retirar los contaminantes de las aguas negras y grises recolectadas de la actividad doméstica, comercial e industrial. Se debe aclarar que los métodos naturales de tratamiento del agua, como la filtración y la dilución, son muy lentos y no logran remover todos los contaminantes de preocupación. Se requieren procesos adicionales a los de la naturaleza para quitar todos los contaminantes urbanos, además de que hace falta poner en práctica sistemas adicionales construidos específicamente para el tratamiento de las aguas residuales que permitan controlar los compuestos que se deben eliminar (Tchobanoglous et al., 2013).

Dependiendo de su procedencia, las aguas negras contienen una mezcla de contaminantes (véase Tabla 2.1) que deben ser separados antes de descargar dichas aguas a medios acuáticos, terrestres o marinos. La primera parte del proceso de tratamiento, conocida como drenaje y alcantarillado, consiste en la recolección y conducción de las aguas residuales; esto se hace mediante sistemas de drenaje y alcantarillado que se conectan a las plantas de tratamiento (PTAR).

Un sistema completo de tratamiento de aguas residuales normalmente consta de:

- Drenaje y alcantarillado, que consiste en la infraestructura de recolección y conducción.
- Una o más PTAR, que comprenden las instalaciones de tratamiento.
- La línea morada o infraestructura para el transporte y subsecuente reutilización del agua residual tratada.
- Infraestructura para la disposición de los desechos sólidos y líquidos generados dentro del proceso de tratamiento, principalmente los lodos que se sedimentan y acumulan en las diferentes fases.

El tratamiento que se da a las aguas residuales puede ser en diferentes niveles. Dependiendo del porcentaje de remoción que se desea y de los compuestos presentes en el agua residual se implementan diferentes procesos en serie para obtener el mayor nivel de remoción y su posible reutilización. Según el objetivo del tratamiento se puede recurrir a distintos tipos de tecnologías e insumos de operación y mantenimiento, que ocasionan variaciones en los costos del procedimiento. Los métodos en los que predomina la aplicación de procesos físicos se llaman comúnmente *operaciones unitarias* y aquellos en los que la remoción de contaminantes se realiza mediante procesos químicos o biológicos se denominan *procesos unitarios*. En la actualidad, los sistemas de tratamiento utilizan una combinación de *operaciones* y *procesos unitarios* que proporcionan diferentes niveles de remoción de contaminantes y que han resultado en los ya conocidos niveles de tratamiento: preliminar, primario, primario avanzado, secundario (con y sin remoción de nutrientes) y avanzado o tratamiento terciario (Lofrano y Brown, 2010; Tchobanoglous et al., 2013).

También existen diferentes técnicas o procesos para procesar los desechos del tratamiento, principalmente los biosólidos. Es importante entender los diferentes niveles de tratamiento y algunos de los procesos específicos que se llevan a cabo. Sin embargo, el propósito de este libro no es proporcionar explicaciones detalladas técnicas que se pueden encontrar en otros libros de texto. A continuación se presentan de manera resumida los distintos grados de tratamiento:

- *Preliminar o pretratamiento*: consiste en la remoción de basura que se encuentra en el agua o dentro de las tuberías, como trapos, palos, plásticos y sólidos de tamaño grande que pueden ocasionar problemas en el funcionamiento de los procesos unitarios y sistemas adicionales de válvulas.

- *Tratamiento primario*: se enfoca en eliminar sólidos suspendidos más pesados y materia orgánica; típicamente se hace utilizando procesos de sedimentación que se basan en principios de gravedad. Las formas más básicas de tratamiento primario son los diferentes tipos de fosas sépticas.
- *Tratamiento primario avanzado*: busca remover una mayor cantidad de sólidos suspendidos y materia orgánica mediante la incorporación de químicos y la aplicación en serie (o etapas) de procesos de sedimentación. Algunos sistemas primarios avanzados comprenden procesos de infiltración.
- *Tratamiento secundario*: su principal objetivo es quitar la materia orgánica biodegradable y sólidos suspendidos en solución. Los tratamientos secundarios utilizan microorganismos para convertir la materia orgánica del agua negra en dióxido de carbono, agua y energía, que se emplean en el crecimiento de los microorganismos. Hay dos tipos básicos de tratamiento secundario: los basados en el crecimiento suspendido o de lodos activados y los de crecimiento adherido o biopelícula. En los sistemas de lodos activados, la biomasa y el agua residual están mezclándose constantemente en un ambiente en donde el agua residual se airea (procesos aeróbicos), lo que resulta en una disminución de la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5). El exceso de sólidos o lodos es removido o reciclado en el mismo sistema de tratamiento. Los de crecimiento adherido o biopelícula comúnmente usan algún tipo de sustrato fijo, como rocas o plásticos, en los cuales los microorganismos se pueden unir y crecer. Uno de los sistemas adheridos más comunes es el de Reactores de Contacto Biológicos (RBC, por sus siglas en inglés). En algunos tipos de estos tratamientos se incluye una primera etapa de desinfección. Igualmente, existen tratamientos secundarios enfocados en la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- *Tratamiento terciario*: remueve sólidos suspendidos que quedan después del tratamiento secundario. Comúnmente se usan procesos biológicos y de filtración granular de diferentes tamaños o micromallas. Estas evolucionaron a lo que actualmente se conoce como sistemas de membranas y hoy son los sistemas de tratamiento terciarios más conocidos en el mundo. Las membranas son capaces de eliminar sólidos suspendidos, pero también la mayor parte de las bacterias y virus presentes en el efluente de los tratamientos secundarios. Las primeras versiones comerciales a gran escala de reactores biológicos aerobios de membranas (MBR, por sus siglas en inglés) se empezaron a utilizar en Estados Unidos, a finales de 1970. A la fecha existen muchos sistemas de membranas diseñados para procesos industriales y para la remoción de contaminantes específicos. Al igual que los procesos secundarios, los tratamientos terciarios típicamente comprenden un proceso de desinfección y de remoción de nutrientes en esta etapa.
- *Tratamiento avanzado*: algunos autores consideran que los procesos que se agregan después del tratamiento terciario son avanzados. Muchos de estos se orientan a remover materiales disueltos y suspendidos después del tratamiento terciario o del proceso biológico. Estas etapas se añaden dependiendo del nivel de calidad de agua residual que se desea lograr, en particular para algunos procesos industriales donde se busca el reúso total del agua tratada.
- *Prácticas de desinfección*: la desinfección es el proceso mediante el cual organismos patógenos se destruyen o desactivan para proteger la salud pública. En sus inicios, el método común aplicado a las heces humanas antes de ser descargadas en las redes sanitarias fue el cloruro de calcio. En la mayor parte del mundo el cloro, en su forma líquida o gaseosa, es lo más recurrente y práctico para desinfectar el agua residual tratada y el agua potable. Sin embargo, aplicar cloro también causa problemas de salud y

por eso hoy en día se ha estado sustituyendo por métodos más avanzados que son calificados el estado del arte, como la desinfección por medio de rayos ultravioleta o la ozonación.

- *Tratamiento de biosólidos (post)*: uno de los productos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas residuales son los biosólidos. Estos, a su vez, deben ser manejados adecuadamente. Las técnicas de tratamiento de biosólidos se han concentrado en el espesamiento, estabilización, remoción del agua y secado. La evolución de los métodos de manejo de biosólidos no ha progresado tan rápido como en la parte líquida; no obstante, nuevas normas regulatorias especifican estándares avanzados de remoción de metales pesados y otros compuestos, en particular cuando se busca reutilizar los biosólidos como composta o fertilizantes en áreas agrícolas. En esta etapa también se encuentran los procesos enfocados en la generación de energía, a través de diferentes tipos de digestores. En la actualidad, el manejo de los biosólidos es un área de gran investigación, ya que los rellenos sanitarios se continúan usando para desechar los biosólidos, ocasionado otro tipo de problemas por la falta de capacidad.

Tabla 2.2. Etapas del tratamiento de las aguas residuales

	Pre-tratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Objetivo	Eliminar objetos gruesos, arenas y grasas	Eliminar materia sedimentable y flotante	Eliminar materia orgánica disuelta o coloidal	Eliminar sólidos en suspensión, materia orgánica residual y patógenos
Operaciones	Desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado	Decantación primaria, tratamientos fisicoquímicos (coagulación – floculación)	Degradación bacteriana, decantación secundaria	Floculación, filtración, eliminación de nitrógeno y fósforo, desinfección
Tipo procesos	Procesos físicos	Procesos físicos y químicos	Procesos biológicos	Procesos físicos, químicos y biológicos

Fuente: retomado de Alianza por el Agua (2008).

En su libro *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*, que es considerado como la Biblia del tratamiento de aguas residuales, Tchobanoglous et al. (2013) describen los diferentes factores que se deben tomar en cuenta en la construcción de una PTAR. Primeramente se seleccionará el proceso más adecuado para las necesidades y objetivos de la planta, los cuales se basan en los estudios de caracterización de las cargas de contaminantes a remover y la normatividad que se tenga pensado cumplir. Además, se deberá contemplar la “aplicabilidad del proceso”, que refleja el nivel de habilidad y experiencia del equipo de ingeniería encargado del diseño de la PTAR. Esto es importante, dado que se necesita entrenar personal local para operarla y administrar su mantenimiento después de construida. Lo anterior también depende de los recursos disponibles para el equipo de diseño, por ejemplo, datos de desempeño de instalaciones similares que ya se encuentran operando, información técnica publicada en revistas científicas, manuales prácticos de operación como los editados por la

Water Environment Federation (WEF), manuales de diseño de procesos publicados por agencias de gobierno como la Environmental Protection Agency (EPA) y resultados de estudios de proyectos de plantas piloto donde se ponen a prueba nuevas tecnologías. La recomendación es que, a falta de la información técnica para evaluar la aplicabilidad de los procesos, se realicen pruebas piloto para obtener datos de diseño específicos para cada situación de donde se podrá instalar una planta de tratamiento de gran escala y acorde con las características de los contaminantes que se encuentran presentes en las aguas negras.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales son muy variados, ya que dependen del tipo de compuestos que se encuentran en ellas y el objetivo que se quiere alcanzar para su reutilización o disposición final. El diseño de nuevas técnicas en la actualidad se ha concentrado en la creación de tecnologías que reutilizan la energía que se genera en el mismo sistema y buscan producir la menor cantidad de emisiones, ejemplo de esto son los programas de emisiones cero de carbono en las PTAR.

Figura 2.1. Diferencia visual entre agua sin tratar y tratada



Nota: El lado izquierdo muestra el agua negra sin tratamiento (influyente) para una PTAR y el lado derecho muestra el efluente del agua residual tratada con un sistema terciario. Fuente: Imagen de Agustín Robles Morua.

En resumen, los procesos para el tratamiento de las aguas residuales se pueden esquematizar de la siguiente manera, como nos apuntan Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca (2013):

Tabla 2.3. Ejemplos de procesos en el tratamiento de aguas residuales

Fisicoquímicos	Biológicos	Tratamiento de lodos
Tamizado Filtración Sedimentación Flotación Adsorción Absorción Desorción Oxidación química Filtración con membranas Coagulación-floculación-sedimentación Precipitación Intercambio iónico	<p>Aerobios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lodos activados • Lagunas aireadas • Filtros percoladores • Discos biológicos rotatorios • Filtros sumergidos • Sistemas aerobios suspendidos <p>Anaerobios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lagunas anaeróbicas cubiertas • Tratamientos anaeróbicos de separación por membranas • Fosas sépticas • Reactores anaeróbicos en secuencia • Digestores anaeróbicos completamente mezclados • Reactor anaeróbico de lecho de lodos (USAB) • Sistemas naturales construidos (humedales artificiales de flujo sumergido) en el terreno 	Composteo Tratamiento con cal Tratamiento térmico Digestión anaerobia Digestión aerobia

Fuente: Noyola et al. (2013, p. 26).

2.2.3. Reúso y reclamación del agua residual tratada

El reúso de las aguas consiste en el aprovechamiento benéfico de las aguas residuales que pueden o no haberse sometido a tratamiento. La reclamación del agua residual se refiere específicamente a su tratamiento o procesamiento para que pueda ser reutilizada, a lo que también se le conoce como reciclado del agua residual. Las aguas residuales que reciben algún tipo de tratamiento reducen los posibles impactos negativos a la salud pública y ambiental e incrementan sus posibilidades de aprovechamiento.

La inclusión de proyectos enfocados en el reúso y reclamación del agua residual en sistemas de recursos hídricos es un reflejo de cómo ha aumentado la escasez de agua para satisfacer la demanda de la sociedad, así como de los avances tecnológicos en el tratamiento, la mayor aceptación del público de las aguas tratadas y un mejor entendimiento de los riesgos de salud pública en su aprovechamiento (Tchobanoglous et al., 2013). La inclusión del agua residual reclamada o reusada se puede conceptualizar como un componente adicional del ciclo hidrológico. En dicho ciclo existen fuentes de agua superficiales de agua dulce y salada, agua subterránea, agua asociada con diversas funciones de usos de suelo (funciones ecosistémicas) y el vapor de agua atmosférico. Muchos subsistemas del ciclo hidrológico abarcan los sistemas de almacenamiento y transporte del agua. En ese contexto, el reúso, la reclamación y el reciclaje del agua representan componentes muy importantes del ciclo hidrológico en zonas urbanas, industriales y agropecuarias.

Las principales opciones para destinar el agua residual son: la irrigación, las actividades industriales, el reabastecimiento de fuentes superficiales y la recarga de acuíferos. Las últimas dos ocurren de manera natural a través del ciclo hidrológico, mediante la lluvia escorrentía y lluvia-infiltración, y con los sistemas construidos se

facilita la infiltración por medio de la irrigación y los escurrimientos urbanos o pluviales, por lo que eventualmente una fracción de estos volúmenes puede ser infiltrado.

Tabla 2.4. Formas de reúso de agua tratada y sus posibles limitaciones o problemas

Categorías de reúso del agua residual	Limitantes o problemas
Irrigación de campos agrícolas, irrigación de cultivos, reúso en viveros comerciales	<p>Si no son manejados adecuadamente, la infiltración del agua tratada puede ocasionar contaminación al agua subterránea.</p> <p>La aceptación de cultivos que fueron irrigados con aguas tratadas y sus implicaciones económicas y de mercado.</p> <p>Efectos de la calidad del agua tratada en los suelos y los cultivos, en particular los altos contenidos de sales.</p>
Irrigación de áreas verdes, patios de escuelas, camellones en las calles y carreteras, campos de golf, cementerios, cinturones verdes y zonas residenciales	<p>Complicaciones de salud pública relacionados con el contacto con posibles agentes patógenos (bacterias, virus y parásitos).</p> <p>El uso de zonas de acceso restringidas por irrigarlas con agua residual puede ocasionar mayores costos a los usuarios.</p>
Reúso y reciclado del agua tratada en procesos industriales (enfriamiento, agua pesada, de alimentación a calderas, etc.)	<p>Formación de depósitos y corrosión en las tuberías por altos contenidos de minerales en los efluentes.</p> <p>Formación de crecimientos biológicos y ensuciamiento en procesos industriales.</p> <p>Preocupaciones de salud pública por la transmisión de aerosoles que contienen patógenos y son liberados en los procesos industriales de enfriamiento.</p> <p>Posible contaminación cruzada en líneas de agua tratada reclamada y las redes de agua potable.</p>
Recarga subterránea, reabastecimiento de mantos freáticos, inyección para controlar la intrusión salina y subsidencias del suelo	<p>Posible contaminación de fuentes de agua subterráneas que son empleadas como fuente de agua para consumo humano.</p> <p>Posibles efectos toxicológicos de compuestos químicos orgánicos que se encuentran presentes en el agua residual reclamada.</p> <p>Presencia de sólidos totales disueltos, nitratos y patógenos que pueden estar presentes en el agua residual reclamada.</p>
Usos recreacionales y ambientales como la creación de lagos y estanques artificiales, el mejoramiento o recuperación de zonas de pantanos, el aumento o recuperación de escurrimientos superficiales en ríos (flujos base), la mejora en zonas de pesquería y la posible creación de nieve en regiones templadas	<p>Afectaciones a la salud pública por la presencia de bacterias y virus (infecciones entéricas, de oído, nariz y ojos).</p> <p>Problemas de eutrofización debido a los contenidos de fósforo y nitrógeno en los cuerpos receptores.</p> <p>Problemas de toxicidad para los organismos acuáticos.</p>
Usos urbanos no potables como los servicios de control de incendios, aires acondicionados y el uso en las descargas de inodoros	<p>Preocupaciones de salud pública por la transmisión de aerosoles que contienen patógenos.</p> <p>Formación de depósitos y corrosión en las tuberías por altos contenidos de minerales en los efluentes.</p> <p>Posible contaminación cruzada en líneas de agua tratada reclamada y las redes de agua potable.</p>
Reúso potable a través de mezclas de agua en represas o reservorios, abastecimiento directo de agua	<p>Los posibles efectos toxicológicos por la presencia de compuestos químicos orgánicos y trazas de metales pesados que se encuentran presentes en el agua residual reclamada.</p> <p>Imagen y aceptación del público en general.</p> <p>Preocupaciones de salud pública por la presencia de bacterias y virus (infecciones entéricas).</p>

Fuente: elaboración propia con base en Tchobanoglous et al. (2013, pp. 1346-1354).

El reúso y reclamación de las aguas residuales tratadas ha cobrado auge principalmente en la industria, en virtud de que reduce costos de operación y elimina posibles multas por descargas que contaminen redes sanitarias o cuerpos de agua. Uno de sus usos más comunes es para el enfriamiento de calderas. También se han incrementado las aplicaciones de reúso en servicios municipales (principalmente riego de parques y jardines) y en la recarga (directa e indirecta) de acuíferos.

Una vez realizados los procesos adecuados para el tratamiento de las aguas residuales, otro de los elementos importantes es la infraestructura que facilite su reutilización. Existe una diversidad de infraestructuras que podemos considerar, entre las que se encuentran la toma de agua directamente de una tubería mejor conocida como *de tipo garza*; las líneas de conducción llamadas *línea morada*, con las que se llevan las aguas tratadas hasta su disposición final, como pueden ser parques, industrias, sanitarios, comercios, entre otros. Como se ha mencionado, el reúso de las aguas residuales puede estar en una diversidad de aplicaciones, de acuerdo con el nivel de tratamiento que hayan recibido, la infraestructura con que se cuente para transportarlas y los sectores interesados. Igualmente, es muy importante considerar que para dar un tratamiento a cada uno de los diferentes usos se deben cumplir normas y estándares de calidad. Los costos de tratamiento para lograrlo son muy elevados y por eso se deben contemplar en la planeación de cómo reutilizar el agua residual tratada.

Referencias

- Alianza por el Agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/manual-de-depuracion-de-aguas-residuales-urbanas/>
- Fito, J. y Van Hulle, S. W. H. (2020). Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: towards environmental sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 2949-2972. doi:10.1007/s10668-020-00732-y
- Lofrano, G., y Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5254-5264. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.062
- Novotny, V., Ahern, J. y Brown, P. (2010). *Water Centric Sustainable Communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M. y Güereca, P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Ingeniería.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2014). *Decenio Internacional para la acción El agua fuente de vida 2005-2015. Acceso a saneamiento*. Recuperado de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/sanitation.shtml>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. 21 October 2015, A/RES/70/1. Recuperado de <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2021). La economía circular: un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente. *Noticias ONU*, 26 marzo de 2021. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>

Orner, K. D. y Mihelcic, J. R. (2018). A review of sanitation technologies to achieve multiple sustainable development goals that promote resource recovery. *Environmental Science Water Research & Technology*, 4(1). doi: 10.1039/C7EW00195A

Tchobanoglous, G. Stensel, H. D., Tsuchihashi, R. y Burton, F. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource recovery*. 5th Edition. New York: Ed McGraw-Hill (Metcalf & Eddy, Inc).

3. LA POLÍTICA MEXICANA EN MATERIA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

El objetivo de este capítulo es presentar la política mexicana en materia de tratamiento de las aguas residuales urbanas y su puesta en práctica. Para exponer el diseño de dicha política se revisa el contenido de las leyes, las normas oficiales, los planes y programas en esta materia. A fin de observar la puesta en práctica se presentan las estadísticas oficiales sobre la construcción y operación de las PTAR y el volumen de aguas residuales tratadas. Las preguntas que se plantean son: ¿cuál ha sido la política mexicana en materia de saneamiento?, ¿cómo ha sido su implementación?

El capítulo está orientado principalmente al análisis del saneamiento como un servicio de los municipios urbanos y no incluye ni el tratamiento que llevan a cabo entes privados, ni el que hacen las industrias, ni el de los municipios rurales que constituyen una problemática diferente.

3.1. Legislación federal en materia de saneamiento

En México, la política de saneamiento surgió de manera más clara y explícita en 1988, con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (SEDUE, 1988), cuyo artículo 117 establece que “las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo” (SEDUE, 1988, párr.). Es esta ley la que introduce la obligatoriedad del tratamiento de las aguas residuales urbanas y de establecer los criterios o parámetros para tal fin. Ciertamente hay antecedentes como la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental de 1971 (SSA, 1971) y la Ley de aguas de propiedad nacional de 1972 (SRH, 1972), que declaraba de utilidad pública “la prevención y el control de la contaminación de las aguas”, pero estas fueron más bien exhortaciones que no obligaban a su cumplimiento.

Tres años después, en 1991, se comenzó a publicar anualmente la Ley Federal de Derechos (SHCP, 1991) que estipula la obligación de pagar derechos por las descargas de aguas residuales en aguas nacionales, tales como cauces de ríos, lagos o el mar (arts. 276 y siguientes). Fue así como a partir de 1991 las descargas de aguas residuales comenzaron a ser también una fuente de ingresos para el gobierno federal. Esta ley se publica cada año con el fin de actualizar las tasas y montos de dichos derechos.

Asimismo, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) expedida en 1992 declaró de utilidad pública “la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales y la ejecución de medidas para el reúso de dichas aguas, así como la

construcción de obras de prevención y control de la contaminación del agua” (art. 7, frac. 5), y dedica un capítulo a la prevención de la contaminación de las aguas (SARH, 1992).

Tabla 3.1. Leyes federales referentes al saneamiento

Fecha DOF	Ley	Comentario
28 ene. 1988	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (SEDUE, 1988) (última reforma 9 de enero de 2015)	Esta norma define la protección ambiental del gobierno federal y ordena directamente la obligación del tratamiento de las aguas residuales urbanas.
1 dic. 1992	Ley de Aguas Nacionales (SARH, 1992)	Establece las pautas generales del manejo del recurso hídrico en la nación. Retoma la utilidad pública de las PTAR desde la perspectiva de la infraestructura y las medidas necesarias para su control.
23 dic. 1999	Constitución Política, Reforma a Art. 115, fracc. III, inciso a (SG, 1999)	Reforma el artículo 115 para establecer que los gobiernos municipales son los responsables del servicio público de “agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de las aguas residuales”.

Fuente: elaboración propia con base en información publicada en su momento en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF).

Por otra parte, en lo que se refiere a la gestión y responsabilidad directa del saneamiento, la Constitución Política, de acuerdo con la reforma aprobada en 1983 al artículo 115, fracción III (Secretaría de Gobernación, 1983), señalaba que: “Los municipios, con el concurso de los Estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes, tendrán a su cargo los siguientes servicios públicos: a) Agua potable y alcantarillado”. O sea que en esta etapa no se hacía referencia al tratamiento de las aguas residuales ni al saneamiento. Posteriormente, debido a la reforma de este mismo artículo publicada el 23 de diciembre de 1999, el texto del citado inciso se modificó para quedar de la siguiente manera: “a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales” (Secretaría de Gobernación, 1999). De esta manera el artículo 115 constitucional dejó establecido que en México los responsables del tratamiento y disposición de las aguas residuales son los gobiernos municipales.

En la Constitución y en las leyes de la materia queda asentado quiénes son los actores que participan en la política pública de saneamiento. La Comisión Nacional del Agua como el organismo público encargado de la regulación de este servicio y los gobiernos municipales como los responsables del tratamiento de las aguas residuales.

3.2. Normas mexicanas

Para que la política de tratamiento de las aguas residuales esté completa, además de la definición de la obligatoriedad y de los responsables, debe especificar exactamente cuáles son las características de dicho tratamiento y cuál es la calidad o nivel de tratamiento que tienen que evidenciar las aguas. Esto es lo que hacen las normas mexicanas (NMX) y las normas oficiales mexicanas (NOM).

Las NMX son regulaciones técnicas elaboradas por la Secretaría de Economía que disponen los requisitos mínimos de calidad de los productos y servicios. En el caso de las aguas residuales, las normas mexicanas definen los métodos y procesos que se tiene que seguir en cada una de las pruebas y determinar las particularidades de las aguas residuales tratadas. Estas sirven de base y referencia para la definición de las NOM.

Tabla 3.2. Normas mexicanas que son referencia para el tratamiento de las aguas residuales

NMX	Norma Mexicana	Publicación en el DOF
NMX-AA-003	Muestreo de aguas residuales	25 de marzo de 1980
NMX-AA-004	Sólidos sedimentables en aguas residuales	13 de septiembre de 1977
NMX-AA-005	Determinación de grasas y aceites	8 de agosto de 1980
NMX-AA-006	Determinación de materia flotante	5 de diciembre de 1973
NMX-AA-007	Determinación de la temperatura	23 de julio de 1980
NMX-AA-008	Determinación de pH	25 de marzo de 1980
NMX-AA-026	Determinación de nitrógeno total	27 de octubre de 1980
NMX-AA-028	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	6 de julio de 1981
NMX-AA-029	Determinación de fósforo total	21 de octubre de 1981
NMX-AA-034	Determinación de sólidos en agua	3 de julio de 1981
NMX-AA-042	Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales	22 de junio de 1987
NMX-AA-046	Determinación de arsénico en agua	21 de abril de 1982
NMX-AA-051	Determinación de metales	22 de febrero de 1982
NMX-AA-057	Determinación de plomo	29 de septiembre de 1981
NMX-AA-058	Determinación de cianuros	14 de diciembre de 1982
NMX-AA-060	Determinación de cadmio	26 de abril de 1982
NMX-AA-064	Determinación de mercurio	3 de marzo de 1982
NMX-AA-066	Determinación de cobre	18 de noviembre de 1981
NMX-AA-078	Determinación de zinc	12 de julio de 1982
NMX-AA-079	Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina),	14 de abril de 1986
NMX-AA-099	Determinación de nitrógeno de nitritos	11 de febrero de 1987
NMX-AA-044	Determinación de Cromo Hexavalente-	6 de enero de 1982
NMX-AA-076	Determinación de níquel	4 de mayo de 1972
NMX-AA-102	Detección y enumeración de organismos coliformes	28 de agosto de 1987

Fuente: Secretaría de Economía (2020).

Una observación que habría que documentar es que muchas de estas NMX no han sido actualizadas de acuerdo con los avances en los métodos de análisis y en la capacidad de detección de las características de preocupación. Hoy en día hay muchos más constituyentes de preocupación que se deberían de incluir en las NMX y NOM.

Por otra parte, las NOM son regulaciones técnicas que contienen la información, requisitos, especificaciones, procedimientos y metodología que permiten a las distintas dependencias gubernamentales establecer parámetros evaluables para evitar riesgos a la población, a los animales y al medio ambiente (Congreso de la Unión, 1992, pp. 13-20). Estas normas, por lo tanto, señalan cómo se debe de hacer el saneamiento y proveen las especificaciones técnicas que debe seguir el tratamiento de las aguas residuales municipales.

El 6 de enero de 1997 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* la nueva “NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales” (SEMARNAP, 1997, s. p.). El texto de esta norma define a las aguas residuales como “aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas” (SEMARNAP, 1997, s. p.). Además, considera como contaminantes básicos de las aguas residuales los siguientes: “grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH” (SEMARNAP, 1997, s. p.). Asimismo, como contaminantes patógenos y parasitarios se considera a “aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna” (SEMARNAP, 1997, s. p., que en lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana, son los coliformes fecales y los huevos de helminto. Aunque no es el objetivo de este trabajo hacer la descripción completa de los parámetros técnicos de esta norma, a manera de ejemplo mencionamos que para las descargas de origen público urbano el rango permisible del potencial de hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades, y que el límite de coliformes fecales (como indicador de los contaminantes patógenos) es de 1000 unidades por cada 100 mililitros como número más probable para el promedio mensual y de 2000 unidades por cada 100 mililitros para el promedio diario. Asimismo, el límite máximo de demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5) es de 30 como promedio mensual y de 60 como promedio diario (SEMARNAP, 1997). La lista de parámetros es mucho más larga, pero bastan los anteriores para dar una idea del nivel técnico de la norma. El tratamiento de las aguas residuales que llevan a cabo los gobiernos municipales, a través de sus organismos operadores de agua o de las empresas concesionarias, tiene el objetivo principal de eliminar los contaminantes, de manera que reúnan los requisitos para poder ser vertidas en cuerpos de aguas o suelos nacionales.

Además de las especificaciones técnicas, la NOM-001-ECOL-1996 también pedía que los responsables del tratamiento de las aguas residuales presentaran un programa de acciones y obras orientado al cumplimiento de esta norma. En el caso de los gobiernos municipales, los primeros obligados a observar la norma a partir del 1 de enero del 2000 fueron aquellos con población mayor a 50 000 habitantes (de acuerdo con el censo de 1990). Los municipios con menos población tenían plazos para los años 2005 y 2010. La dependencia encargada de vigilar el cumplimiento de esta disposición fue la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y en caso de no hacerlo se aplicarían las sanciones establecidas por la Ley Federal de Derechos (SEMARNAP, 1997).

Por otra parte, en 1998 se publicó la NOM-002-SEMARNAT 1996 (SEMARNAP, 1998) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado municipal. Esta norma se distingue de la 001 (enfocada en las aguas residuales que vierten los municipios en aguas nacionales) porque es para las aguas residuales que desechan los particulares, como por ejemplo las industrias u otros giros de actividad económica, en los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. Mientras que el órgano regulador de la norma 001 es la Conagua, los encargados de la vigilancia de la 002 son los gobiernos estatales, municipales y el entonces Distrito Federal. Esta norma 002 también estableció plazos para su cumplimiento por parte de los municipios: para aquellos con más de 50 000 habitantes (de acuerdo con el censo de 1990) la fecha límite era el 1 de enero de 1999. Estos plazos son un año anterior a los fijados para el cumplimiento de la norma 001, ya que primero se requería que los particulares limitaran la contaminación de sus aguas residuales para que, en una segunda etapa, los municipios pusieran en práctica el tratamiento de las aguas residuales y cumplieran con su propio tiempo.

Por último, también en 1998 se publicó la NOM-003-SEMARNAT 1997 que fija los límites máximos de grasas y aceites, materia flotante, DBO5, sólidos suspendidos y ciertos tipos de coliformes fecales para las aguas residuales tratadas que se reusarán en servicios públicos como lagos y canales artificiales, fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines, campos de golf, entre otros. Esta norma es de observancia obligatoria para los gobiernos municipales y las entidades públicas del tratamiento y reúso. En caso de que el servicio público lo realizaran terceros, ellos serían los responsables de la observancia de esta norma. Esta es la NOM que aplica la mayoría de las PTAR municipales y la que sigue la PTAR de Hermosillo.

Tabla 3.2. Resumen de Normas Oficiales Mexicanas

Fecha DOF	Norma Oficial Mexicana	Comentarios
25 jun. 1996	NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las <i>descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales</i>	Aplica a todo tipo de aguas residuales vertidas en aguas nacionales, incluyendo las municipales. El organismo vigilante es la Conagua. Fijó diferentes plazos para su aplicación en los municipios del país, de acuerdo con el número de habitantes, que concluyeron el 1 de enero de 2010.
3 jun. 1998	NOM-002-SEMARNAT 1996 que establece los límites máximos de los contaminantes de las aguas residuales que se viertan <i>en los sistemas municipales de drenaje y alcantarillado</i>	Los encargados de la vigilancia son los gobiernos estatales y los municipios. Da fechas para su cumplimiento, un año anterior a la de la norma 001-ECOL.
21 sept. 1998	NOM-003-SEMARNAT 1997 que establece los límites máximos de contaminantes para las <i>aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público</i> .	Establece los límites máximos de grasas y aceites, materia flotante, DBO5, sólidos suspendidos y ciertos tipos de coliformes fecales para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos como lagos y canales artificiales, fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines, campos de golf, entre otros.

Fuente: elaboración propia con base en el *Diario Oficial de la Federación*.

De este modo, tenemos tres Normas Oficiales Mexicanas relativas a la gestión de las aguas residuales y que aplican en diferentes etapas o procesos: una es para la disposición o descarga de las aguas residuales municipales en cuerpos de aguas nacionales; otra es para las aguas que los usuarios del servicio de agua potable y drenaje desechan o descargan en el sistema de drenaje y alcantarillado municipal; y una tercera para las aguas tratadas destinadas a ser reutilizadas en servicios públicos. Puede decirse que son las normas oficiales correspondientes al drenaje, a la disposición y el reúso de las aguas residuales.

Estas normas especifican cómo debe llevarse a cabo el saneamiento y las características que deben mostrar las aguas que resultan de este proceso. El objetivo de la política quedó establecido desde 1996 y era que todas las ciudades y municipios mexicanos con más de 50 000 habitantes contaran con tratamiento de aguas residuales para el año 2000, así como que todos los municipios urbanos del país (con más de 2 500 habitantes) tuvieran un sistema de tratamiento de aguas residuales para el año 2010.

3.3. Dos décadas de implementación de la política de saneamiento

Hasta aquí hemos presentado los objetivos y buenas intenciones que establece la política mexicana de saneamiento, revisemos ahora los indicadores de resultados y el impacto de esta política a nivel nacional de 1998 a 2018. Con ese propósito, se observa el número de PTAR construidas y cuántas de ellas están operando, además de la capacidad instalada de gasto, es decir, de tratamiento de aguas residuales y el volumen que efectivamente se está procesando. Para evaluar el impacto tomamos los volúmenes de aguas residuales producidas, recolectadas y tratadas a nivel nacional.

El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales (Conagua, 2018) nos informa que su número a nivel municipal aumentó de 914 en 1998 a 3 359 en 2018. Esto significa que se construyó un total de 2 445 plantas en 20 años, o sea, poco más de 122 plantas anualmente. Se puede observar que hubo un gran esfuerzo por elevar la cantidad de plantas existentes y que la política de saneamiento estaba dando resultados.

Sin embargo, se advierte también que de esa cifra de plantas, casi una cuarta parte no estaba en operación, lo que significa que el número de las que se encontraban activas era de 727 en 1998 y de 2 540 en 2018. Este dato nos habla de que a pesar del gran esfuerzo para instalar las PTAR, había problemas para ponerlas en operación y para que realizaran la actividad para la que habían sido construidas.

De la misma manera, hay que señalar que el gasto o capacidad instalada de las PTAR existentes a nivel nacional se incrementó de 63 150 litros por segundo (lps) en 1998 a 195 239 lps en 2018. Este aumento fue de 209%. No obstante, la capacidad instalada de las plantas que estaban operando se había elevado de 58 560 litros por segundo en 1998 a 181 152 litros por segundo en 2018. Nuevamente vemos que había una subutilización de la infraestructura construida con gran empeño e inversión de recursos.

En lo que se refiere al tipo de procesos que utilizan estas PTAR, la gran mayoría llevan a cabo tratamientos secundarios utilizando los procesos de lodo activado o de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales. En 2018, del total de 2 642 PTAR, 725 eran de lodo activado y 774 usaban lagunas de oxidación (Conagua, 2018, 2020).

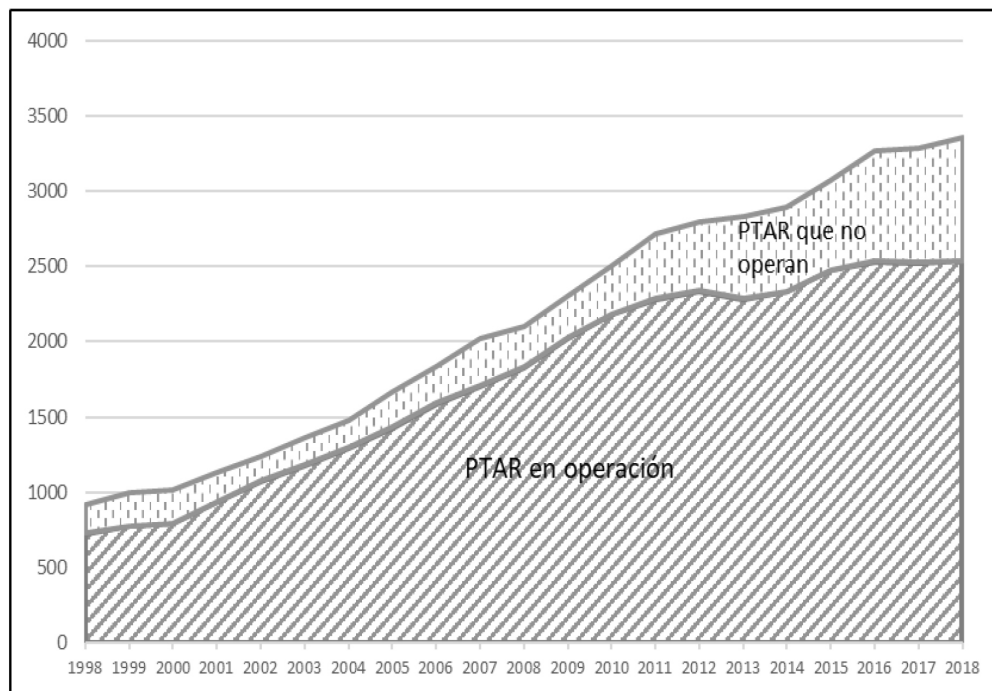
Como es de esperarse, la cantidad de agua residual efectivamente tratada era menor a la capacidad instalada tanto de las PTAR existentes como de las plantas en operación. El volumen de aguas tratado era de 40 855 en 1998 y aumentó a 137 698 en 2018, lo que significa que únicamente se estaba utilizando 76% de la capacidad instalada de las plantas en operación.

Tabla 3.3. PTAR construidas y en operación en México

Año	PTAR construidas		%	Gasto instalado Total (1ps)	Gasto instalado de PTAR en operación (1ps)	Gasto tratado PTAR en operación (1ps)	%	%
	Total PTAR	PTAR en operación	En op./ total				Tratado/ en operación	Tratado/ instalado
1998	914	727	80	63 150.9	58 560	40 855	70	65
1999	1 000	777	78	67 547.9	61 559	42 397	69	63
2000	1 018	793	78	75 952.5	68 970	45 927	67	60
2001	1 132	938	83	80 622.2	73 853	50 810	69	63
2002	1 242	1 077	87	85 042.6	79 735	56 149	70	66
2003	1 360	1 182	87	89 585.3	84 332	60 243	71	67
2004	1 481	1 300	88	92 674.8	88 718	64 542	73	70
2005	1 666	1 433	86	101 348.7	95 774	71 785	75	71
2006	1 837	1 593	87	104 895.9	99 764	74 399	75	71
2007	2 020	1 710	85	112 294.8	106 267	79 294	75	71
2008	2 101	1 833	87	118 920.0	113 024	83 641	74	70
2009	2 303	2 029	88	125 625.8	120 861	88 127	73	70
2010	2 500	2 186	87	132 144.1	126 848	93 600	74	71
2011	2 719	2 289	84	144 074.7	137 082	97 640	71	68
2012	2 794	2 342	84	148 307.7	140 142	99 750	71	67
2013	2 835	2 287	81	161 727.1	152 172	105 935	70	66
2014	2 892	2 337	81	161 137.3	151 883	111 254	73	69
2015	3 076	2 477	81	187 953.8	177 973.6	120 902.2	68	64
2016	3 266	2 536	78	192 510.7	180 569.7	123 586.8	68	64
2017	3 285	2 526	77	194 453.3	181 150.2	135 580.3	75	70
2018	3 359	2 540	76	195 239.1	181 152.2	137 698.6	76	71

Fuente: Conagua (2018).

Figura 3.1. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en operación y sin operar



Fuente: elaboración propia con base en Conagua (2018).

Los datos muestran que el número de plantas de tratamiento ha representado avances sustantivos de 1998 a 2014, pero que en los cuatro años siguientes su crecimiento fue menor y que el número de plantas sin funcionar tendió a aumentar.

¿Cuál ha sido el impacto de estas PTAR en el tratamiento de las aguas residuales municipales en México? Las estadísticas nacionales publicadas por la Conagua en el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) nos permiten saber que entre 1998 y 2018 el volumen total de aguas residuales producidas por los municipios urbanos de México, a pesar del crecimiento de la población, no se ha elevado sino que incluso ha disminuido. El cuadro de indicadores revela que en 1998 se producían 7 540 hectómetros cúbicos (lo que equivale a millones de metros cúbicos) de aguas residuales. Este volumen se incrementó a 8 040 hectómetros cúbicos en los años 2003, 2004 y 2005, años en que alcanzó su dato más alto en este lapso de 20 años. Posteriormente empezó a disminuir y para el 2018 el volumen de aguas producido era de 7 430 hectómetros cúbicos de aguas residuales, aunque para el año siguiente (2019) aumentó significativamente a 7 900 (Conagua, 2020). Este comportamiento es sorprendente, ya que la población urbana de México ha estado creciendo y se esperaría que el volumen de las aguas residuales lo hiciera en la misma proporción. Sin embargo, es posible que haya factores que expliquen esta disminución, como mayores eficiencias en el uso del agua que propicien menos descargas o bien el reúso de las aguas residuales sin que lleguen a la red de drenaje. Desconocemos si dicha explicación existe.

La siguiente columna de datos nos expone la cantidad de aguas residuales que son recolectadas por los sistemas urbanos de drenaje y alcantarillado. En 1998 se recolectaba 78% de las aguas residuales producidas y esta

proporción se elevó a su cobertura más alta de 93% en los años 2015 y 2016, y bajó a 92% en 2018 y a 86% en 2019. Aunque ha habido avances en este renglón, se observa que se mantiene una porción de las aguas residuales urbanas que no son recolectadas.

En cuanto al tratamiento de las aguas residuales recolectadas, se observa que ha pasado de ser sólo 22% en 1998 a 64% en 2018, esto es, el salto ha sido de 42 puntos porcentuales, más de dos puntos por año. Pero a pesar del avance constante en este rubro, no se han cumplido las metas programadas de los planes y programas que proponían alcanzar el saneamiento total para el año 2001.

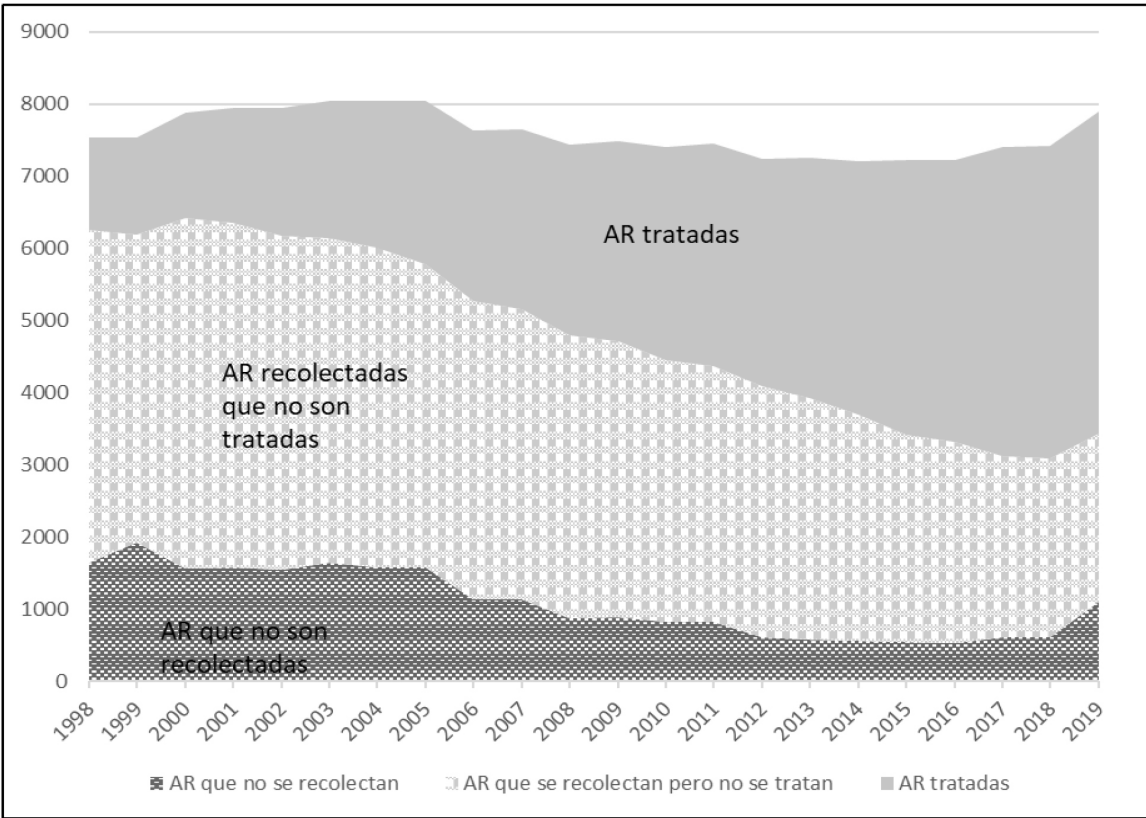
Tabla 3.4. Recolección y tratamiento de aguas residuales en México

	aguas residuales producidas (hm³)	se recolectan (hm³)	se tratan (hm³)	% recolección	% tratadas/ recolectadas	% tratamiento/ aguas residuales
1998	7 540	5 900	1 290	78	22	17
1999	7 540	5 610	1 340	74	24	18
2000	7 880	6 310	1 450	80	23	18
2001	7 950	6 370	1 600	80	25	20
2002	7 950	6 400	1 770	81	28	22
2003	8 040	6 400	1 900	80	30	24
2004	8 040	6 460	2 030	80	31	25
2005	8 040	6 460	2 260	80	35	28
2006	7 630	6 500	2 350	85	36	31
2007	7 660	6 530	2 500	85	38	33
2008	7 440	6 560	2 640	88	40	35
2009	7 490	6 590	2 780	88	42	37
2010	7 410	6 590	2 950	89	45	40
2011	7 450	6 630	3 080	89	46	41
2012	7 240	6 630	3 150	92	48	44
2013	7 260	6 680	3 340	92	50	46
2014	7 210	6 650	3 510	92	53	49
2015	7 230	6 690	3 810	93	57	53
2016	7 220	6 690	3 900	93	58	54
2017	7 410	6 790	4 280	92	63	58
2018	7 430	6 810	4 340	92	64	58
2019	7 900	6 790	4 460	86	66	56

Fuente: elaboración propia con base en SEMARNAP (1997, p. 69); SEMARNAP (1998, p. 8) y Secretaría de Economía (2020).

Si el seguimiento del cumplimiento del tratamiento lo hacemos sobre el total de las aguas residuales producidas (recolectadas y no recolectadas), la proporción de aguas tratadas es un poco menor, ya que se ha avanzado de 17% en 1998 a 58% en 2018. En este caso, el progreso es de 41 puntos porcentuales. Es muy importante recalcar que no existe información detallada del desempeño de las PTAR en México; los reportes oficiales sobre las plantas que están operando se presentan con el supuesto de que cumplen cabalmente con la remoción de contaminantes de acuerdo con las NOM. Este supuesto, sin embargo, no es realista, debido a las cargas variables de contaminantes que durante ciertas épocas hay mayores concentraciones y muchos diseños se realizan con las cargas promedio, lo que significa que cuando se registran días de cargas máximas, el desempeño de remoción es menor. Igualmente, el aumento del flujo de entrada y la carga de contaminantes de diseño también se ve afectada por el crecimiento de la población, que genera más desechos de aguas residuales de los que se habían considerado originalmente. Otro factor más obedece a las fallas históricas en realizar mantenimientos y actualizaciones a las PTAR.

Figura 3.2. Aguas residuales recolectadas y tratadas



Fuente: elaboración propia con base en datos del Sistema Nacional de Información del Agua (Conagua, 2020).

En el incremento del número de PTAR se aprecia un gran esfuerzo para ampliar la infraestructura de saneamiento existente. Pero, por otra parte, el dato de que casi la cuarta parte de las que se han construido no está en operación muestra que hay problemas y obstáculos en su operación y mantenimiento. La política de saneamiento avanzó bastante, pero después se estancó. En este rubro tampoco se cuenta con reportes detallados

del desempeño de diferentes tipos de tratamiento implementados en las ciudades. Estos problemas y deficiencias están estrechamente relacionados con la falta de capacidad técnica y financiera de los organismos operadores municipales para cubrir los costos de operación y mantenimiento, y con la ausencia de una demanda para el reúso de los efluentes. Todo esto amerita un estudio más a fondo y replantear el financiamiento municipal del tratamiento de las aguas residuales, así como la política de saneamiento en su conjunto.

3.4. Comentarios finales

En este capítulo nos formulamos las siguientes preguntas. La primera es: ¿cuál ha sido la política mexicana en materia de saneamiento? Trataremos ahora de responderla sucintamente.

Aunque desde los años 70 las leyes mexicanas ya hablaban de prohibir el desecho de aguas residuales (Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, de 1971) y considerar de utilidad pública su manejo y control (Ley de Aguas de Propiedad Nacional, de 1972), la política mexicana en materia de saneamiento fue diseñada hasta finales de los años 80 por medio de la expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (SEDUE, 1988), que declaró obligatorio el tratamiento de las aguas residuales. Posteriormente fue afinada con las Normas Oficiales Mexicanas (basadas en normas mexicanas anteriores), que definieron las características específicas que debían tener las aguas residuales que se vertieran en cuerpos de agua nacionales, las que se vierten en los sistemas municipales de drenaje y alcantarillado, así como las que se reutilicen en servicios al público. Además, la NOM-001-ECOL-1996 puso de plazo hasta el año 2000 para que los municipios urbanos con más de 50 000 habitantes contaran con plantas de tratamiento de aguas residuales; para aquellos con menos población la prórroga era hasta los años 2005 y 2010.

En cuanto a la segunda pregunta, ¿cuál ha sido su grado de cumplimiento? Al revisar los datos oficiales sobre la construcción de plantas de tratamiento se observa que ha habido un aumento considerable, ya que se han instalado en un promedio de más de cien anuales en los 20 años siguientes del diseño de la política y que su capacidad se ha ido elevando en aproximadamente 6 000 litros por segundo cada año. Sin embargo, se advierte el problema de que entre una cuarta y una quinta parte de las plantas construidas deja de funcionar. Esto nos habla de que los organismos de agua municipales enfrentan inconvenientes para cubrir los costos de la operación y mantenimiento. Hay incentivos para construir, sobre todo con los apoyos de gobierno federal, pero no cuentan con la recaudación suficiente para pagar la operación y el mantenimiento.

Además, al analizar los datos de la generación y tratamiento de aguas residuales nos encontramos con que el nivel de tratamiento de las aguas residuales solo alcanzó 50% de aguas residuales recolectadas hasta el año 2013. Esto quiere decir que no se lograron las metas establecidas por la NOM ECOL 001 de 1996. Hay que señalar que la proporción de aguas tratadas se reduce aún más si consideramos que hay un porcentaje de aguas residuales que tampoco son recolectadas; si tomamos en cuenta esta parte, el porcentaje disminuye unos puntos. Vemos de este modo que no se han alcanzado las metas fijadas y esto amerita un replanteamiento del problema, a fin de definir las causas y redireccionar el camino a seguir.

Así, parece que la política de saneamiento de México se encuentra estancada y no puede avanzar, y que para resolver la situación se requiere del fortalecimiento efectivo de las finanzas de los organismos operadores, además de que no haya fugas de fondos en su gestión. Solo con unas finanzas sanas en los organismos de aguas se podrá consolidar la política de saneamiento.

Referencias

- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Diciembre 2014. México: autor.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2020). *Procesos de tratamiento de aguas residuales*. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Recuperado de sina.conagua.gob.mx/sina
- Congreso de la Unión. (1 de julio de 1992). *Ley Federal de Metrología y Normalización*. México: *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1 de diciembre de 1992). *Ley de Aguas Nacionales*. México: *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). (28 de enero de 1988). *Ley General de equilibrio ecológico y la protección al ambiente*. México: *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Economía. (9 de noviembre de 2020). *Normas Mexicanas, aguas residuales*. Catálogo de Normas Mexicanas. México. Recuperado de <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.m> <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/BusquedaNormas.xhtml>
- Secretaría de Gobernación (SG). (3 de febrero de 1983). *Decreto por el que se reforma y adiciona el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México: *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Gobernación (SG). (23 de diciembre de 1999). *Decreto que reforma el artículo 115 constitucional*. México: *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (20 de diciembre de 1991). *Ley que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones fiscales*. México: *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). (11 de enero de 1972). *Ley de aguas de propiedad nacional*. México: *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA). (11 de enero de 1971). *Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental*. México: autor. Recuperado de <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/2188/2078>
- Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). (6 de enero de 1997). *Norma Oficial Mexicana NOM 001 Ecol 1996*. México: *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997#gsc.tab=0
- Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). (3 de junio de 1998). *Norma Oficial Mexicana 002-Ecol 1996*. México: *Diario Oficial de la Federación*.

4. DRENAJE Y ALCANTARILLADO SANITARIO DE HERMOSILLO

La recolección y disposición de las aguas residuales juega un papel crítico en la interacción de la ciudad de Hermosillo con su entorno natural. De la manera como se deshaga de sus aguas sucias dependen tanto la salud de los habitantes como la sanidad de la localidad y la contaminación o no del lecho del río y del acuífero aguas abajo. Por todo esto, es relevante revisar cómo se ha relacionado Hermosillo con su entorno en lo que respecta a las aguas residuales.

Esta ciudad surgió en el año 1700 como una aldea de indios pimas cocomacakes, fundada por el alférez Juan Bautista de Escalante y el misionero jesuita Adán Gilg, llamada Santísima Trinidad del Pitiquín o El Pitic, localizada en la confluencia de los ríos Sonora y San Miguel. Años después, en 1741, Agustín de Vildósola estableció ahí el Real Presidio de San Pedro de la Conquista del Pitic, localizado en la parte sur del cerrito de La Cruz, en la actual colonia Villa de Seris. Posteriormente, en 1744, el mismo Vildósola erigió la hacienda del Pitic al pie del cerro de La Campana, en lo que actualmente es el centro histórico de la ciudad (Lagarda, Vázquez y Noriega, 2009).

4.1. Antecedentes e inicios del drenaje

Como todas las comunidades de la región, la población de Hermosillo pasó primeramente por las etapas del fecalismo (defecar al aire libre, al menos cuando era población prehispánica) y la de que cada casa o vivienda contara con letrinas consistentes en lo que regionalmente se conoce como *excusado*, *excusado de hoyo* o *excusado de cajón*; es decir, pequeñas habitaciones o cuartos chicos, generalmente de material precario y ubicados al fondo del patio o corral, en las que había un hoyo en el suelo de unos dos metros de profundidad, cubierto con una plancha de madera u otro material sólido, donde se colocaba un mueble de madera con asientos con hoyos para que las personas se sentaran a hacer sus necesidades. Cuando la fosa u hoyo en la tierra comenzaba a llenarse con los desechos había dos opciones: o se desocupaba manualmente el contenido y se disponía de los desechos en algún otro lugar donde no causaran problema o como abono en algún campo, o bien se tapaba y se abría un nuevo hoyo en otro sitio del predio para iniciar un nuevo ciclo con otro *excusado de hoyo*. Para el desahogo de las necesidades nocturnas, a fin de no salir de la vivienda, se usaba el bacín o bacinica, una especie de cuenco o tazón sobre el que se podía sentar una persona y cuyo contenido era vaciado posteriormente durante el día (Aguinaga, 2017).

Como ejemplo de casa con *excusado*, el testamento de José Monteverde y Carmen Morales, de 1904, menciona que:

El Señor Licenciado Don José Monteverde es dueño de una casa y huerta ubicada en esta ciudad, en la calle de Tabasco o de la Carrera, estando la casa marcada con el número diez y seis y se compone de dos pisos de los cuales el primero tiene trece piezas, zaguán, corredor, dos excusados, dos galeras, patio, traspatio, dos cocheras, un corralito, caballeriza, bebederos, pesebres y otro corral para gallinas, todo cercado; y el piso alto se compone de siete piezas, corredor, dos azotehuelas y excusado (Monteverde, 1904, s. p.).

Los excusados de hoyo fueron la regla general durante todo el siglo XIX, cuando la población de la ciudad era de alrededor de 15 mil habitantes. Para finales de dicha centuria, durante el porfiriato, la ciudad de Hermosillo alcanzó los 20 000 residentes. Posteriormente, durante la Revolución, en las décadas de 1910 y 1920, la población se redujo un poco pero en 1930 contaba con una población de 25 182 habitantes (BID, BanDAN y Ayuntamiento de Hermosillo, 2018, pp. 68-69; IMPLAN de Hermosillo, 2014). En esta etapa de la ciudad no había formalmente un servicio de drenaje y alcantarillado, y cada familia y vivienda resolvía esta necesidad por su propia cuenta de acuerdo con las costumbres de la época. Puede decirse que el saneamiento era autogestionario y puesto que no existía ningún servicio público para atenderlo, se mantenía en el ámbito de los asuntos privados.

Un antecedente tanto de la red de agua potable como de la de drenaje es el sistema de tres acequias, del Alto, del Común y del Chanate, que cruzaban la traza urbana de aquel entonces. Estas acequias desviaban agua del río arriba para el riego de las huertas, viñedos y pequeños jardines domésticos; además, servían para que la gente lavara la ropa y los jóvenes y muchos hermosillenses aprovechaban sus compuertas como albercas y lugares de recreo (Galaz, 1996, p. 411). Por supuesto, las acequias también se utilizaban para desechar –al menos en parte– las aguas residuales de la ciudad. Un reporte presentado al ayuntamiento en 1880 por el médico Eugenio Pesqueira describe las condiciones sanitarias prevalecientes en Hermosillo en ese año. Ahí se menciona que en las acequias era común ocupar las corrientes para “arrastrar sus inmundicias” y que serían buenos albañales si no estuvieran descubiertas. Menciona también que las letrinas, llamadas “lugares comunes”, eran “enteramente antihigiénicos” en todo Hermosillo; incluso en las “casas más acomodadas” representaban un peligro para la salud, porque las comunes, que tenían menos corrientes (que no daban a una acequia) “guardan para siempre sus defecaciones” (Félix-Rosas, 2010, pp. 124-126). Estas acequias perduraron hasta 1928, cuando en el marco de una campaña de higienización, las autoridades locales las cegaron y eliminaron porque constituían una amenaza para la salud de los hermosillenses (Topete, 1928).

En la década de 1930, con los avances de la ciencia en materia de bacterias y con el surgimiento de las vacunas, se comenzaron a divulgar mayores conocimientos sobre las ventajas de la higiene y la sanidad (Rodríguez y Rodríguez, 1998). Para ese entonces la ciudad contaba ya con una red de suministro de agua potable que cubría buena parte de ella. Fue cuando se expidió el primer Código Sanitario del Estado (BOGES, 18 de enero de 1930) y un Reglamento para la Construcción de Albañales y Productos Desaguadores (BOGES, 15 de febrero de 1930).

Fue así como en 1933 Gobierno del Estado se hizo cargo del servicio de agua y drenaje que, debido a problemas financieros, le había cedido previamente el municipio (Gobierno del Estado de Sonora, 1933) y posteriormente, en su informe de 1934, el gobernador Rodolfo Elías Calles dio cuenta de “la instalación de drenaje en 27 casas que carecen de este servicio” (Elías Calles, 16 de septiembre de 1934, p. 117). Esta es la primera noticia que tenemos de la creación de la red de drenaje en la ciudad de Hermosillo. Más adelante, en 1939, el gobernador Román Yocupicio informó que la red de drenaje se había ampliado a la colonia Obrera (Garibaldi, 1939).

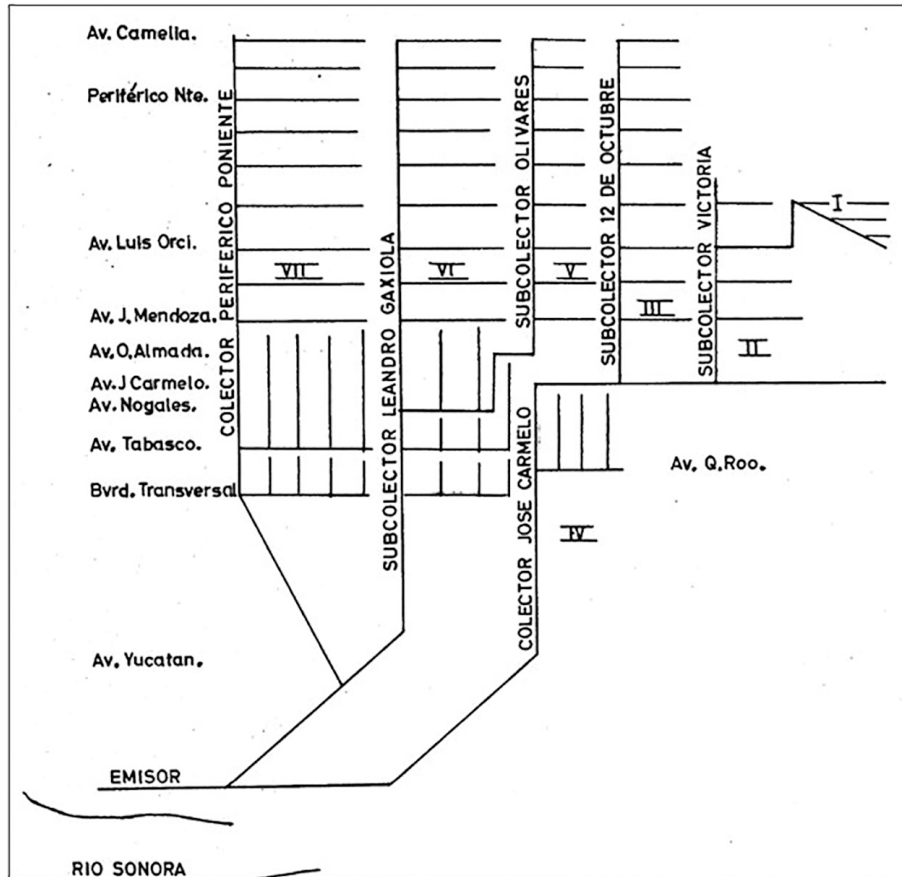
4.2. El drenaje durante la gestión de la Junta Federal de Agua

La ciudad de Hermosillo tuvo un crecimiento vertiginoso durante las décadas de los 50 y 60, pasando de 43 516 habitantes en 1950 a 176 596 en 1970 (IMPLAN, 2014, p. 80). Ante ese desarrollo, los servicios de agua potable y drenaje se quedaron rezagados. El organismo encargado de estos servicios era la Junta Federal de Agua Potable y Alcantarillado de Hermosillo (Pineda y Salazar, 2009), que tuvo que afrontar el aumento de la demanda.

Según la tesis de Acosta Verdugo (1975), el sistema de drenaje y alcantarillado de Hermosillo se construyó en 1950; en ese tiempo constaba de dos colectores: el Serna, que recibía las aportaciones del centro de la ciudad, y el Arizona, al que llegaban las aportaciones de la parte norte de la población. La conducción se hacía por gravedad del norte-noreste hacia el sur-suroeste de la ciudad y no requería sistema de bombeo. Los colectores convergían en un emisor que consistía en un canal a cielo abierto no revestido, localizado al suroeste de la ciudad. El canal iniciaba en una elevación de 193.45 msnm, tenía una longitud de 2 km y transportaba un gasto de 0.760 m³ por segundo. La disposición final de las aguas negras se hacía en el canal principal de riego de la presa “Abelardo L. Rodríguez”, el cual había dejado de funcionar debido a la escasez de agua en la presa. La evacuación llegaba sin ningún tipo de tratamiento y las aguas negras eran aprovechadas para el cultivo estacional de cebada (de octubre a mayo) y para los cultivos perennes de alfalfa y frutales. La superficie regada era de 285.8 ha (Acosta, 1975, pp. 4-5).

A mediados de la década de los 70, el servicio de drenaje se prestaba a una población de 179 000 habitantes y se planeó la ampliación de la red de drenaje, a fin de beneficiar a una población futura de 370 000 habitantes. El proyecto abarcaría de manera inmediata las colonias Balderrama, Jesús García, Modelo, con 38 000 habitantes; las colonias Santa Isabel, Olivares, Choyal y Satélite, con 85 000 habitantes, y la colonia Irrigación, con 5 000 habitantes. A futuro, el proyecto comprendería también las colonias Villa de Seris, Palo Verde y Piedra Bola, con 55 000 habitantes, así como las colonias San Luis, Metalera y Amapolas, con 20 000 habitantes. En total se proyectó beneficiar a una población futura de 370 000 personas. Se trataba de un sistema separado de aguas negras debido a que las aguas pluviales drenan por las calles y avenidas hacia el cauce del río Sonora. El sistema de drenaje también operaba por gravedad, ya que el terreno mostraba una pendiente hacia el oeste y hacia el sur. El diseño de la red seguía la forma conocida como peine; en la zona norte, dicha red de drenaje recogía las aguas residuales por medio del colector Periférico Poniente con dos subcolectores, el Leandro Gaxiola y el Olivares, así como por el colector José Carmelo, con sus subcolectores 12 de octubre y Victoria. Se utilizó tubería prefabricada de concreto simple y de concreto reforzado. Las aguas residuales de los colectores principales convergían en un emisor general que las conducía hacia el oeste paralelamente al río Sonora y las alejaba del área urbana. Por coincidir en un lugar cercano al área urbanizada, el proyecto incluyó el entubamiento de este emisor por medio de dos tubos paralelos de 107 cm de diámetro con una longitud de 3 km. Al salir las aguas negras del emisor entubado pasaban a un canal a cielo abierto que las llevaba al lugar en donde en un futuro se planeaba construir una planta de tratamiento (Acosta Verdugo, 1975, pp. 50-52).

Figura 4.1. Red de desagüe de la ampliación de drenaje de los años 70



Fuente: Acosta (1975, p. 53).

4.3. El drenaje durante la gestión de la COAPAES

Poco más de medio siglo después del inicio de la red de drenaje sin ningún tipo de tratamiento, en la década de los 90 del siglo pasado, la ciudad de Hermosillo contaba con alrededor de medio millón de habitantes. En esos años el servicio de agua de la ciudad estaba a cargo de un organismo denominado Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora (COAPAES), que dependía de Gobierno del Estado.

A fin de cumplir con los lineamientos de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, el 8 de noviembre de 1994, la Comisión Nacional del Agua expidió a la COAPAES de Hermosillo un nuevo título de concesión de aguas para la ciudad (REPD, 1994), que le autorizó a explotar, usar o aprovechar aguas nacionales del subsuelo por un volumen de 49.6 Mm³ (millones de metros cúbicos) anuales. El mencionado título incluía el permiso para descargar aguas residuales en la cuenca del río Sonora. El volumen de la descarga permitida era de 165 200 m³ diarios, lo que multiplicado por 365 días equivale a 60 298 000 m³ al año. El cuerpo receptor es un canal de riego.

Los parámetros autorizados para las descargas especificaban que la demanda biológica de oxígeno de cinco días (DBO5) no debería de exceder una concentración máxima de 75 miligramos por litro y que en promedio no

debía ser mayor de 50 miligramos por litro al día. Además, los sólidos suspendidos totales se estimaban en una concentración promedio de 50 miligramos por litro y una carga total de 8 260 kilogramos por día. Asimismo, el pH no sería menor de 6 ni mayor de 9. El título de concesión especificaba otros parámetros de las aguas residuales como la demanda química de oxígeno (DQO), temperatura, sólidos sedimentables, grasas y aceites, materia flotante y varios más.

Tabla 4.1. Parámetros autorizados en la concesión de 1994 para las descargas de aguas residuales

Parámetro	Unidad	Concentración promedio	Concentración máxima instantánea	Carga kg/día
DBO5 total	Mg/l	50	75	8 260
DBO sol.	Mg/l	30	40	
DQO	Mg/l	100	160	16 520
SST	Mg/l	50	75	8 260
pH	Unidades		No será menor de 6 ni mayor de 9	

Fuente: REPDA, Título de concesión 1SON100306/09HMSG94 a la COAPAES Unidad Hermosillo, del 8 de noviembre de 1994.

En 1995, la red de drenaje de la ciudad de Hermosillo tenía una longitud de 1 200 kilómetros de tuberías cuyo diámetro iba de ocho hasta 96 pulgadas. Dos años después la COAPAES evaluó y consideró que la red se encontraba en un proceso de deterioro rápido, debido principalmente a que gran cantidad de tubería había rebasado su vida útil, pero también al hecho de que importantes tramos escurrían a baja velocidad, provocando azolvamiento y la acción corrosiva de los gases sulfurados, y a que 80% de ella fue construida con tubería de concreto que se destruye ante la acción de los ácidos de la materia orgánica de las aguas residuales. Pese a lo anterior, en general dicha entidad pública estimó que 60% de la red aún se conservaba en buen estado, mientras que 30% estaba regular y el otro 10%, en malas condiciones (COAPAES, 1997).

No se realizó ningún tipo de medición de las características de las aguas residuales ni de los volúmenes generados en la ciudad. Solo se calculó que las descargas eran aproximadamente el 70% de las aguas producidas en época de estiaje y un caudal superior en temporada de lluvias. No hubo inspección o controles sobre los materiales que se vertían en la red ni se realizaron campañas para evitar que se derramaran materiales tóxicos y aún continúa siendo común, por ejemplo, que particulares o talleres automotrices viertan en ella el aceite usado de los automóviles u otras sustancias nocivas para la red de drenaje o para los cuerpos de agua en donde desembocan. Aparentemente el acceso a los estudios efectuados sobre estos temas ha estado limitado a las dependencias gubernamentales y por lo tanto no son del conocimiento público.

En 1992 el servicio de agua potable de la ciudad consumió un total de 94.9 Mm³ (Conagua, 1994). Este volumen aumentó a 95.9 Mm³ en 1995, pero descendió en los años subsecuentes hasta llegar a 74.7 Mm³ en 1998 y cerrar la década con 77.7 Mm³, una reducción de 19%. Estas disminuciones obedecieron principalmente

a la falta de agua y el abatimiento de pozos de abastecimiento de agua, en combinación con los efectos de una sequía prolongada que afectó a la región.

Hacia 1995 la ciudad tenía 127 096 tomas de agua. De este total, 96.4% eran para consumo doméstico, 3.6% estaban clasificadas como tomas comerciales y además había 291 tomas industriales. Para 1999 este número aumentó a 155 339, es decir, se elevó 22%. Este incremento contrasta con la reducción que se registró en esos mismos años en el agua que consumió la ciudad. La disminución del agua producida sucedió a pesar de que la población continuó creciendo en esos años y se puede atribuir a los tandeos o restricciones de horario del suministro que se establecieron. Lo anterior, aparejado al hecho de que se consumió toda el agua de la presa “Abelardo L. Rodríguez” y que esta lucía seca, lo cual significó una concientización por parte de la población acerca de la escasez del recurso que se enfrentaba. A pesar de esta reducción en el agua producida, la eficiencia de la red de distribución dejaba mucho que desear y debido a la gran cantidad de fugas, tomas clandestinas, problemas de medidores, la evaporación y otras pérdidas, se estima que a las tomas o viviendas solo llegaba aproximadamente la mitad del agua generada. La [Tabla 4.2](#) incluye un renglón con el cálculo del agua suministrada como 50%. Hay que aclarar que esta es una estimación en números redondos del agua que efectivamente llegaba a las viviendas.

Tabla 4.2. Estadísticas de los servicios de agua de Hermosillo 1990-1999

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Volumen de agua producida (Millones de m ³)	n.d	n.d.	94.923	n.d.	88.110	95.953	87.022	78.554	74.713	77.676
Núm. tomas de agua potable	93 178	106 456	109 960	121 945	127 076	127 096	135 726	142 153	147 490	155 339
Núm. conexiones alcantarillado	85 984	100 215	104 851	113 328	114 179	114 870	129 796	134 182	140 299	147 420
% de tomas con conexión a drenaje	92	94	95	93	90	90	96	94	95	95
Estimación de volumen agua suministrada (Millones de m ³)	.		47.462		44.055	47.977	43.511	39.277	37.356	38.838
Estimación de volumen de aguas residuales (Millones de m ³)			33.223	-	30.839	33.584	30.458	27.494	26.149	27.187

Fuente: Conagua (1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000).

Por otra parte, en lo que respecta al drenaje y alcantarillado, en 1995 la ciudad contaba con 114 870 conexiones a la red. Esto quiere decir que únicamente 90% de las tomas de agua potable estaban conectadas al drenaje y el resto solo tenían fosas sépticas o las ya mencionadas letrinas o excusados de cajón.

De este total de conexiones al alcantarillado, 95.9% eran domésticas, 3.8% eran comerciales y el 0.3% restante corresponde a 248 conexiones industriales (Conagua, 1997, p. 86). Otra fuente de información es el INEGI, este estimaba que 88% de las viviendas habitadas de la ciudad contaba con drenaje (INEGI, 1996). Hay que aclarar que no se hacía ningún tipo de medición de las aguas residuales, pero se calcula que eran aproximadamente 70% del agua suministrada. Puede pensarse que el volumen de aguas residuales que producía la ciudad alcanzaba alrededor de 30 Mm³, las cuales se desechaban al poniente de la ciudad sin ningún tipo de tratamiento ni laguna de oxidación o estabilización.

4.4. El drenaje del organismo Agua de Hermosillo

Con base en las reformas constitucionales al artículo 115 aprobadas en 1999 y en el contexto de un diferendo por el proyecto de construcción de una planta desaladora de agua de mar, en octubre de 2001 el entonces presidente municipal de Hermosillo, Francisco Búrquez, demandó la municipalización del servicio de agua. La formalización del traspaso del servicio de agua de Gobierno del Estado al municipal ocurrió en febrero de 2002. Desapareció entonces la COAPAES Hermosillo y nació el organismo paramunicipal Agua de Hermosillo (Aguah), que en un principio también se denominó Agua de Hermosillo para los Hermosillenses (Aguahh).

En este apartado se describe la situación del drenaje y alcantarillado después de la municipalización del servicio en 2002. La mayor parte de la información está tomada de los estudios realizados por el nuevo organismo sobre esta materia y corresponde a los años 2004 y 2005 (Aguahh, 2005).

Al pasar al ámbito municipal en 2002, el sistema de drenaje y alcantarillado de la ciudad de Hermosillo, Sonora, se constituyó por una extensa red de atarjeas que recibe a través de las conexiones de albañal las aportaciones de las descargas de aguas residuales, tanto domésticas como no domésticas, recolectándolas y transportándolas en forma segura y rápida hasta los puntos donde son interceptadas por los conductos mayores, denominados subcolectores y colectores, mismos que conducen el agua residual hasta los interceptores y de ahí hasta el sitio de su disposición final, localizado al poniente de la ciudad, conocido como El Vado del Río Sonora.

En 2004, el sistema municipal de alcantarillado sanitario de Hermosillo constaba de 901.31 km de atarjeas y 251.28 km de subcolectores, colectores y emisores, que en conjunto integran una extensa red de 1 152.59 km de tuberías, casi en su totalidad de concreto simple, existiendo también en menor cantidad tuberías de PVC, polietileno y de acero. Los diámetros de las tuberías varían desde 20 hasta 183 cm. Adicionalmente se cuenta con aproximadamente 8 170 pozos de visita de diferentes profundidades que van de 1.00 m hasta 4.5 m (Aguahh, 2005). Esta infraestructura servía a una población de aproximadamente 599 320 habitantes (2004), que representaba una cobertura de 96.8% de las viviendas de la ciudad.

4.4.1. Población sin servicio de drenaje

En 2004 había 37 colonias o asentamientos de la ciudad de Hermosillo que no contaban con conexión a la red de alcantarillado sanitario, lo cual significaba que aproximadamente 20 246 habitantes carecían de este servicio.

Tabla 4.3. Colonias sin servicio de alcantarillado 2004

Núm.	Colonia	Población (habitantes)
1	Los Bacheros (Esther Luna)	183
2	Ladrillera	226
3	Machi López	372
4	Café Combate	1 535
5	Ampliación Olivos	1 752
6	Unión de Ladrilleros	252
7	San Luis Oriente	215
8	Internacional	1 173
9	Sector Poniente Solid.	1 603
10	La Alborada	371
11	Tiro al Blanco	274
12	Progreso	335
13	López Nogales	1 089
14	Sahuaro municipal final	134
15	Héctor Francisco Romero	478
16	Ampliación Las Palmas	38
17	El Mirador	658
18	Altares	910
19	Lomas del Norte	142
20	Jacinto López	29
21	Insurgentes	465
22	Jesús Vega	353
23	López Mateos	1 995
24	El 33	86
25	Arco Iris	542
26	Hermosa Provincia	329
27	Nueva Esperanza	416
28	Sector Beltrones	76
29	Camino Real	54
30	Lomas del Paraíso	256
31	Predio Federal Fuentes	465
32	4 de Marzo	338
33	Ladrilleras	1 015
34	San Luis Norte	186
35	Amapolas Sur	234
36	Rancho Norte	95
37	San José de Las Minitas	1 572
	Total	20 246

Fuente: CONAPO (2000).

Las personas asentadas en estas colonias, en las que no había servicio de alcantarillado, utilizaban fosas sépticas o letrinas para la evacuación de excretas, o bien desechaban el agua del lavado de ropa, utensilios y aseo personal directamente a las calles.

Esta deficiencia del servicio de drenaje y saneamiento hacía que en la ciudad existieran sectores marginados de población expuestos a riesgos para la salud y con mala calidad de vida. El organismo debía resolver el problema de estos asentamientos irregulares y diseñar estrategias para que no continuaran los rezagos.

4.4.2. Red de atarjeas y alcantarillado

El funcionamiento de la red de atarjeas y de todo el sistema de alcantarillado sanitario inicia en la descarga domiciliar de albañal, la cual se divide en dos partes, a la primera se le denomina albañal interior y se localiza dentro del predio, a la segunda se le llama albañal exterior, porque se halla afuera. El albañal cuenta con un registro principal ubicado en el interior del terreno, provisto de una tapa generalmente de concreto sin salida de malos olores; por lo regular la conexión se realiza con tubería de PVC de 15 a 20 cm de diámetro, se instala a una profundidad mínima de 60 cm. El albañal se conecta a la atarjea por medio de una tubería con una pendiente de 1% como mínimo, utilizando la inclinación y el codo de 45° para la unión del albañal con la atarjea o colector, garantizando así que sea hermética.

Dada la topografía de Hermosillo, el sistema de drenaje funciona por gravedad casi en su totalidad, contando únicamente con una pequeña planta de bombeo al sureste de la ciudad. Los escurrimientos de la red de atarjeas tienen la dirección noreste a suroeste al norte del río y de sureste a noroeste al sur del río, ya que la depresión adonde afluyen las dos descargas principales se localiza, como ya se mencionó, al poniente de la ciudad, punto donde inicia el emisor general construido para conducir el agua residual hasta el sitio donde se emplazaría la planta de tratamiento, misma que no se concluyó.

Para cuantificar la red de atarjeas se identifican tres sectores, denominados Norte, Centro y Sur. En la siguiente tabla se muestra la longitud total de la mencionada red por sector y en la siguiente figura se expone la distribución de la infraestructura por el material de las tuberías y por su localización.

Tabla 4.4. Longitud de la red de alcantarillado por tipo de material de las tuberías

Sector	Concreto simple	PVC	Total	%
Norte	468 146	28 430	496 576	55
Centro	232 137	14 600	246 737	27
Sur	118 831	39 168	157 999	18
Suma	819 114	82 198	901 312	100
%	91	9	100	

Fuente: Agua de Hermosillo (2005).

El trazo de la red de atarjeas en la ciudad de Hermosillo presenta en su gran mayoría la configuración tipo “peine”, que es cuando existen varias atarjeas con tendencia al paralelismo, empiezan su desarrollo en un cabezal de atarjeas, descargando su contenido en una tubería común de mayor diámetro, perpendicular a ellas, distribución que ofrece algunas ventajas y desventajas, como se puede ver a continuación.

Ventajas:

- Se garantizan aportaciones rápidas y directas de las cabezas de atarjeas a la tubería común de cada peine, y de estas a los colectores, propiciando que se presente rápidamente un régimen hidráulico establecido.
- Se tiene una amplia gama de valores para las pendientes de las cabezas de atarjeas, lo cual resulta útil en el diseño cuando la topografía es muy irregular.

Desventajas:

- Debido al corto desarrollo que generalmente tienen las atarjeas iniciales antes de descargar a un conducto mayor, en la mayoría de los casos aquellas trabajan por abajo de su capacidad, ocasionando un desaprovechamiento. Sin embargo, para el caso de Hermosillo esta desventaja no es significativa, ya que la red de atarjeas está construida casi en su totalidad con tuberías de 20 cm, que es el diámetro mínimo para este tipo de infraestructura, por lo que no existe desaprovechamiento de capacidad.

Pero también en menor cantidad hay áreas, sobre todo en la zona centro-oriente y centro-sur donde la red tiene una configuración tipo “bayoneta”, que es cuando el trazo inicia en un cabezal de atarjea y sigue un desarrollo en zigzag, la cual brinda las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Se reduce el número de cabezas de atarjeas y permite un mayor desarrollo de ellas, con lo que los conductos adquieren un régimen hidráulico establecido, logrando aprovechar adecuadamente la capacidad de cada uno de los conductos.

Desventajas:

- Dificultad en su utilización, debido a que el trazo requiere de terrenos con pendientes suaves más o menos estables y definidas.
- En la plantilla de los pozos de visita, las medias cañas usadas para el cambio de dirección de las tuberías que confluyen son independientes y con curvaturas opuestas, no debiendo tener una diferencia mayor de 0.50 m. entre las dos medias cañas.

Los problemas más recurrentes y significativos en la red de atarjeas son:

- *Drenaje tapado.* Por la presencia de objetos impropios en las alcantarillas, tales como basura, envases de plástico, ropa, animales muertos, maderos, alambre, varillas, tierra, arena, grava, etcétera, que ocasionan que se estanque el agua y en algunos casos que se remanse, provocando desbordamientos por los pozos de visita en época de lluvias, fugas que a su vez ocasionan la saturación del terreno y el consecuente hundimiento del pavimento.
- *Tapas de coladeras o de pozos de visita fracturadas o robadas.* Debido al paso vehicular sufren un desgaste que en algunas ocasiones deriva de la mala calidad en su construcción.

- *Rupturas de drenaje.* Por la antigüedad de la infraestructura o por la mala ejecución de las obras se presentan fracturas o colapsos en los tubos de la red de atarjeas y de los colectores, provocando la obstrucción del paso del agua por el ingreso del material del subsuelo al tubo, el cual se acumula y no permite el flujo del agua libremente. Además, este tipo de fallas resultan convertirse siempre en molestias para los transeúntes y automovilistas.

Las fallas que tienen que ver con rupturas o colapsos se presentan con alta frecuencia en las colonias más antiguas de la ciudad, donde existe la infraestructura más vieja. Las que tienen que ver con tuberías azolvadas surgen principalmente en las colonias donde hay calles sin pavimentar y que por lo tanto el ingreso de tierra, arena y demás material de terreno es más común y en mayores cantidades.

Por otro lado, Hermosillo tuvo un crecimiento notable a finales del siglo XX, situación que se reflejó en una expansión urbana que ocasionó un rezago en la dotación de servicios básicos, como agua potable y alcantarillado sanitario. Pero también como consecuencia de este mismo desarrollo urbano, con el incremento de las superficies ocupadas por construcciones y vialidades pavimentadas y la disminución de las áreas naturales de infiltración, las lluvias empezaron a ocasionar una mayor concentración de escurrimientos de aguas de tránsito rápido, que descienden súbitamente por las cuestas lisas de las vialidades, deteriorando el pavimento de las calles y acumulando exceso de agua en las partes bajas.

Ante el incremento natural de la población y la creciente urbanización al norte de la ciudad, los sectores urbanos que ocupan las zonas bajas padecen los efectos de las inundaciones, debido a que carecen de sistemas de drenaje pluvial con capacidad adecuada para desalojar los grandes volúmenes acumulados de agua de lluvia. Esta situación hace que la ciudad requiera de drenaje pluvial que evite los desbordamientos que provocan las eventuales lluvias abundantes en las colonias que ocupan las zonas topográficamente deprimidas.

4.4.3. *Las cuencas de drenaje*

Los escurrimientos en la red de atarjeas conforman tres principales cuencas de aportación o zonas de servicio y una pequeña cuenca independiente, de acuerdo con la topografía, pendientes e hidrografía del área urbana de la ciudad.

Las principales cuencas de drenaje están integradas básicamente de la siguiente manera: la del noroeste, denominada “Cuenca Panteón”, drena una superficie de 1 798 ha, donde se asienta una población de 66 381 habitantes correspondientes a 61 colonias, con un total de 18 027 descargas de aguas residuales, en su gran mayoría de tipo doméstico (99%), cuyas aguas residuales llegan a los seis subcolectores afluentes del colector Panteón o directamente a dicho colector. Entre las colonias más importantes que descargan sus aguas dentro de esta cuenca se encuentran: Villa del Real, Solidaridad, Las Dunas, San Bosco, Pueblitos, FONHAPO, Manuel Gómez Morín, Solidaridad IV, Luis Donald Colosio, Jorge Valdez Muñoz, Pueblo Escondido, Pueblo Alegre, Unión de Ladrilleros, Nuevo Sahuaro, Rancho Bonito, Privadas del Bosque, Buenos Aires, Camino Real y Floresta.

La cuenca ubicada al noreste de la ciudad, denominada “Cuenca General”, drena las aguas residuales de 227 colonias que cubren una superficie de 4 755 ha, donde se asienta una población de 316 584 habitantes, con un total de 89 640 descargas de aguas residuales, en su gran mayoría de tipo doméstico (95%), las cuales

llegan a los 29 subcolectores afluentes de los colectores General, Poniente, Central y Yucatán. Entre las colonias más relevantes que envían sus aguas a la Cuenca General podemos mencionar a Sahuaro, Primero Hermosillo, Norberto Ortega, Sahuaro Final, Progresista, Mártires de Cananea, Virreyes 2, Sonacer, Mirasoles, La Caridad, Villas del Palmar, Villa Colonial, Miguel Hidalgo, Eusebio Kino, Carmen Serdán, Jacinto López, Heberto Castillo, Villa Sonora, Benito Juárez, Misión, Jardines, Lomas de Madrid, López Portillo, Lomas de Linda Vista, Insurgentes, Bachoco, Ley 57, Álvaro Obregón, Privadas del Real, Los Ángeles, Sahuaro Indeco, Santa Isabel, Apolo, Pimentel, Choyal, Luis Encinas, Olivares, Olivares Norte, Valderrama, San Benito, Jesús García, Loma Linda, Pitic, Bugambilias, San Luis, Cinco de Mayo, San Benito, Villa Satélite y Villas de Mediterráneo, entre otras.

En la cuenca ubicada en el sur de Hermosillo, llamada “Cuenca Principal”, descargan sus aguas residuales 161 colonias que comprenden una superficie de 7 314 ha, donde se asienta una población de 235 503 habitantes, con un total de 65 871 descargas de aguas residuales, en su gran mayoría de tipo doméstico (96%), que se destinan a los 10 subcolectores afluentes de los colectores Periférico, Sahuaripa, Principal, Ranchito, Villa de Seri, Sur, Industrial y Libertad Minitas. Entre las colonias que descargan sus aguas dentro de este sistema podemos mencionar a Las Quintas, Palmar del Sol, Valle Grande, Los Arcos, Las Granjas, Fuentes de Mezquital, Fuentes del Centenario, Centenario, Centro Sur Mercado, El Mariachi, La Matanza, San Juan, Revolución, Universidad, Café Combate, San Luis, Ranchito, Coloso, Naranjos, Villa de Seri, Tiro al Blanco, El Jito, Pedregal de la Villa, Y Griega, Las Lomas Real del Parque, Las Lomas Sección Bonita, Nuevo Hermosillo, Renacimiento, Arboledas, Terranova, Los Álamos, Cuauhtémoc, Valle del Marqués, Altares, Agualurca, El Apache, San Ángel, FOVISSSTE I y II, Villa de Seri Sur, Emiliano Zapata, Palo Verde Sur, Palo Verde Norte, Tirocapes, Villa Hermosa, Villa Residencial Bonita, Paseo San Ángel, Los Olivos, Real de Minas, La Verbena, Las Villas y Parque Industrial.

Más al poniente de la ciudad se localiza una cuenca de aportación, denominada “La Manga”, que recibe las aguas residuales de una superficie de 74 ha de una sola colonia, La Manga, donde se asienta una población de 1 865 habitantes, con 592 descargas de aguas residuales, en su gran mayoría de tipo doméstico (85%), que llegan al emisor de esta colonia.

En resumen, a través de las conexiones de albañal dentro de estas cuatro principales cuencas (zonas o sectores) que cubren una extensión territorial de 13 942 ha, la red de atarjeas recibe un total de 174 130 descargas de aguas residuales de 619 132 habitantes y 7 802 usuarios no domésticos, cuyas aportaciones son captadas y conducidas por medio de los subcolectores y colectores hasta los cuerpos receptores.

4.4.4. Subcolectores y colectores

La red de subcolectores y colectores que conforman el sistema de alcantarillado está constituida por tuberías de concreto simple, concreto reforzado y polietileno, con diámetros que van desde 30 hasta 244 cm, con una longitud que suman 251.28 km. Esta red fue construida para funcionar como un sistema separado que capta y conduce los caudales de aguas residuales. Los principales subcolectores y colectores que interceptan las redes de atarjeas son 17, los cuales fluyen hacia la depresión conocida como “El Vado del Río Sonora”, localizada al oeste de la ciudad, donde se encuentra una estructura de bombeo fuera de operación con la que se da inicio al emisor general que conduce las aguas residuales tanto del colector Principal como del Panteón hasta el ejido Ampliación

La Manga y FENOSA, pasando por los ejidos de La Manga y la Yesca. Adicionalmente, en esta depresión se localiza un canal de mampostería que recibe las aguas del colector General y las lleva hasta desembocarlas en el arroyo El Álamo.

Los colectores y subcolectores de la Cuenca Noroeste que descargan sus aguas residuales al colector Panteón tienen una longitud de 18.21 km y captan en conjunto una superficie de 1 798.16 ha, donde se asienta una población de 66 251 habitantes, que aportan un caudal de aguas negras de 184.21 lps como promedio anual.

En la zona Norte-Centro existen cuatro colectores que hacen el papel de ejes: colector Noroeste, colector Norte I, colector Poniente y colector General, los cuales siguen una trayectoria de norte a sur similar al escurrimiento natural que tiene dicha área de la ciudad. A ellos se incorpora un número considerable de subcolectores y colectores que interceptan, conduciendo así las aguas residuales de esta circunscripción. Entre los principales subcolectores que interceptan están “Progreso”, “Norte III”, “Norte II”, “Lázaro Mercado”, “Cuba”, “Central II”, “Central I” y “Yucatán”, todos ellos son tributarios del eje de colectores antes mencionado. Su destino final es el canal de mampostería que desagua en el arroyo El Álamo. Esta amplia red de subcolectores y colectores tiene una longitud de 117.02 km y capta en conjunto una superficie de 4 755.16 ha, donde habita una población de 315 963 personas, que aportan un caudal de aguas negras de 949.82 lps, como promedio anual.

En la zona Sur de la ciudad se encuentra el colector Principal, que recibe las aguas residuales de la extensa trama de subcolectores y colectores pertenecientes a esta demarcación, entre los cuales podemos mencionar a San Luis, Ranchito, Sahuaro, Villa de Seris, Olivares, Periférico, Las Quintas, Las Lomas, Perisur, Palo Verde y Libertad-Minitas, todos ellos tributarios del colector Principal, incorporándose a todo lo largo de su trayectoria, que va de este a oeste sobre la Av. del Canal, hasta incorporarse al Emisor General. La longitud aproximada de esta trama de colectores es de 105.90 km y capta una superficie de 7 314.15 ha, donde radican 235 041 habitantes, quienes aportan un caudal de aguas negras de 684.45 lps, como promedio anual.

Asimismo, en el sur de la ciudad se halla un cárcamo de bombeo al cual llegan las aportaciones de los colectores Papalote, Industrial y uno identificado como Marginal, posteriormente las aguas que capta son vertidas en el colector Perisur, sumándose a las que llegan de la zona sur.

Hay una zona desincorporada a la mancha urbana que cuenta con su propio colector, denominado colector La Manga, el cual descarga a una fosa séptica antes de hacerlo en los cuerpos receptores naturales. Este concentra y conduce las aguas residuales de la red de atarjeas de esta y de otras colonias adyacentes. La longitud aproximada del colector es de 2.05 km y cubre una superficie de 74.31 ha, donde viven 1 876 habitantes, que aportan un caudal de aguas negras de 6.87 lps, como promedio anual.

La [Tabla 4.5](#) muestra las estimaciones de los caudales en cada una de las épocas del año, ya que –como es sabido– existe un incremento en el consumo de agua potable en los meses de verano, que por consecuencia elevan los volúmenes aportados al sistema de atarjeas de la ciudad, que descargan a los subcolectores y colectores.

Tabla 4.5. Aportaciones de agua residual por época del año (l.p.s.)

Cuenca	Subcuenca	Colonias	Población	Aportación		
				Invierno	Verano	Anual
Panteón		61	66 251	145.31	228.06	184.21
	Panteón	61	66 251	145.31	228.06	184.21
General		227	315 963	749.25	1175.88	949.82
	Poniente	103	163 382	355.79	558.38	451.03
	Central	75	117 428	294.04	461.48	372.76
	Yucatán	37	30 381	87.76	137.73	111.25
	Casa Grande	6	3 581	8.81	13.82	11.16
	Los Lagos	6	1 191	2.85	4.47	3.61
Principal		161	235 041	539.92	847.35	684.45
	Ranchito	15	15 604	33.90	53.20	42.97
	A-1, A-2 Colector Principal	8	7 162	15.69	24.62	19.89
	A-3 Colector Principal	14	10 906	40.50	63.56	51.34
	Sahuaripa	9	5 333	14.31	22.46	18.14
	Villa de Seris	5	5 541	12.88	20.21	16.33
	Periférico Olivares y Las Quintas	16	26 009	61.21	96.07	77.60
	Industrial	1	0	3.39	5.31	4.29
	Sur	55	120 497	261.79	410.85	331.87
	Principal	2	745	2.63	4.13	3.34
	Libertad-Minitas	36	43 244	93.63	146.94	118.69
La Manga		1	1 876	5.42	8.51	6.87
	La Manga	1	1 876	5.42	8.51	6.87
Suma		450	619 131	1439.90	2 259.80	1825.35

Fuente: elaborada con datos de Aguahh (2005).

En términos de porcentajes, la cuenca General aporta 48%; la cuenca Principal, 44%; la Panteón, 7%, y la de La Manga, menos de 1%. La contribución de aguas residuales que se tomará en cuenta para determinar las capacidades de las PTAR es la de 2 260 lps, que se generó en julio de 2004.

Tabla 4.6. Resumen de las aportaciones de agua residual por época del año (lps)

Cuenca	Colonias	Población	Aportación			
			Invierno	Verano	Anual	Marzo
Panteón	61	66 251	145.31	228.06	184.21	181.94
General	227	315 963	749.25	1175.88	949.82	938.09
Principal	161	235 041	539.92	847.35	684.45	675.99
La Manga	1	1 876	5.42	8.51	6.87	6.79
Suma	450	619 131	1439.90	2259.80	1 825.35	1 802.81

Fuente: elaborada con datos de Aguahh (2005).

Como se mencionó, la mayor parte de la red de alcantarillado opera como un sistema mixto de aguas residuales y pluviales, lo que causa problemas cuando hay lluvias copiosas, situación común dado que 70% de las precipitaciones en Hermosillo caen en los meses de verano de julio, agosto y septiembre (Navarro-Estupiñán et al., 2018).

El estudio realizado en 2004 no incluyó los análisis del contenido o calidad de las aguas residuales que se generaban. En el examen hidráulico sanitario se debieron tomar en cuenta las características químico-biológicas de las aguas residuales provenientes de los usos domésticos, comerciales e industriales, a fin de determinar los requerimientos de tratamiento, o bien definir las políticas pertinentes y evitar que se vertieran sustancias nocivas como grasas o aceite automotriz, por ejemplo.

El referido estudio establece, asimismo, que para conocer el volumen de aguas residuales que se mandaba a los colectores se podía estimar como 80% de las dotaciones de agua potable. Sin embargo, para determinar la capacidad de las tuberías se consideró el volumen a tubo lleno y la pendiente mínima para cada uno de los tramos de un mismo diámetro, en los periodos de máxima generación de aguas residuales.

Para realizar el análisis hidráulico pluvial en los subcolectores mixtos se determina el caudal provocado por las lluvias dentro de cada cuenca de aportación utilizando, por ejemplo, el método racional, tomando los valores típicos del coeficiente de escurrimiento y las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno. Los gastos obtenidos se comparan con las capacidades mínimas a tubo lleno para cada tramo de subcolector o colector, con lo que es posible saber si existen zonas de tuberías en donde la topografía propicia acumulación del agua pluvial, ocasionando que la capacidad de la red de drenaje resulte insuficiente trabajando como sistema mixto, por lo que sería necesario desincorporar los drenajes residuales para posteriormente construir, o bien reforzar, los sistemas de drenajes que funcionarán como pluviales.

Más adelante se deben revisar los gastos combinados de agua residual y pluvial que corresponden a la condición en la cual operan actualmente los subcolectores y colectores de la ciudad. Como resultado, se determinará qué longitud de los subcolectores y colectores para la condición de gasto combinado de aguas residuales y pluviales requieren reforzamiento, con la finalidad de incrementar la capacidad de drenaje y evitar encharcamientos e inundaciones.

En resumen y con respecto a la información obtenida de la infraestructura existente de alcantarillado, se observa que debido a que no se lleva un registro exacto de las características físicas y funcionales de los elementos que conforman el sistema, se hace necesario implementar un programa de levantamiento y nivelación de cada uno de los pozos de visita de la infraestructura, con lo cual se complementaría la información que se tiene.

Para poder aumentar la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario de la ciudad es necesario construir obras importantes, como introducir redes de atarjeas, subcolectores, colectores, estructuras de cruzamiento, interceptores, estructuras de derivación y desvíos. Por lo tanto, en el proceso de planeación integral para el desarrollo, mejoramiento y expansión de los servicios que opera y administra Aguahh debe mantener permanentemente activo un programa destinado a alcanzar, en el mediano plazo, la meta de llevar los beneficios del drenaje sanitario a la totalidad de los habitantes de la ciudad de Hermosillo, a través de conexiones domiciliarias de albañal, con el propósito de contribuir a resolver los problemas de contaminación, mejorar las condiciones de salud y elevar la calidad de vida de la población.

4.5. Producción de aguas residuales en el periodo 2002-2011

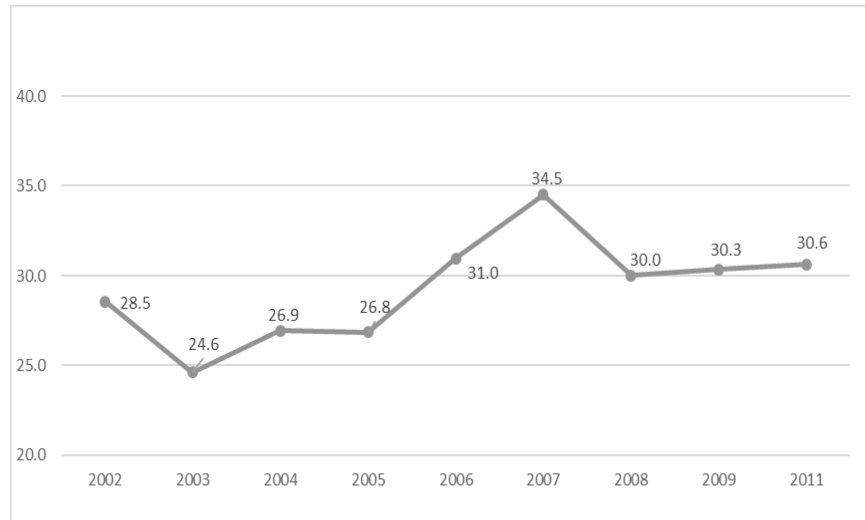
De acuerdo con la información proporcionada por el organismo, la mayor parte de las aguas residuales es de origen doméstico y comercial. Sin embargo, al menos hasta el año 2012, dichos volúmenes no se medían ni se contaba con datos continuos confiables de los gastos de aguas residuales (Pineda, entrevista personal a Nery Vargas, 2012). La Gerencia de Fuentes y Reúso del Agua de Agua de Hermosillo, a través de comunicación personal, proporcionó algunas estimaciones y mediciones parciales del gasto de las dos descargas principales (colector Norte y Emisor Principal) correspondientes al lapso de 2002 a 2011, exceptuando el año 2010, del que no se cuenta con datos. Estas estimaciones no fueron una medición directa del volumen recolectado, sino solo el gasto promedio de litros por segundo que se recolectaba en algunos periodos. Con estos datos, multiplicando los litros por segundo promedio anuales, de manera indirecta se hizo una estimación de las aguas residuales producidas. Primero se sumaron los promedios anuales del gasto de los dos colectores y luego el resultado se anualizó para obtener una estimación gruesa del volumen de aguas residuales recolectadas de 2002 a 2011, que osciló entre 28.5 Mm³ en 2002 y 34.5 Mm³ en 2007, con una clara tendencia al alza, salvo en los últimos tres años del periodo (2008, 2009 y 2011), cuando el volumen de aguas recolectadas parece haberse mantenido estable en poco más de 30 Mm³.

Tabla 4.7. Estimación con base en muestras de volúmenes de aguas residuales recolectadas

Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Suma promedio anual l.p.s.	905.14	780.55	854.31	851.21	981.99	1 094.59	951.79	961.97	n.d.	971.11
Mm ³ por año	28.54	24.62	26.94	26.84	30.97	34.52	30.02	30.34	n.d.	30.63

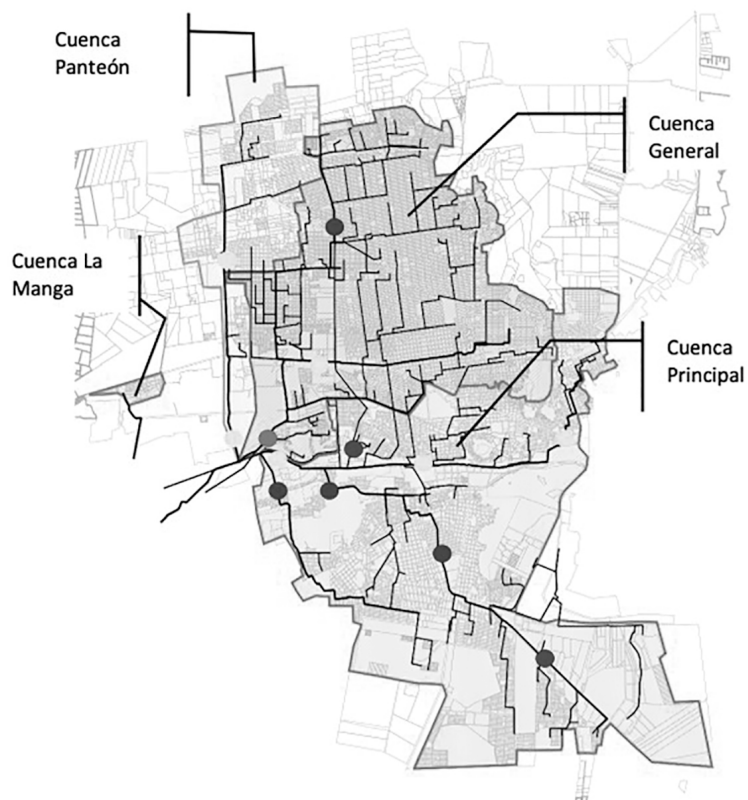
Fuente: elaboración propia con base en datos de comunicación de Nery Vargas (Pineda, 2012).

Figura 4.2. Estimación de las aguas residuales recolectadas (Millones de m³)



Fuente: elaboración propia con base en comunicación de Nery Vargas (Pineda, 2012).

Figura 4.3. Cuencas y red de colectores y subcolectores de Hermosillo en 2005



Fuente: Aguahh (2005).

Según estas estimaciones se observa que la ciudad de Hermosillo produce una cantidad significativa de aguas residuales, que por su volumen tienen un gran potencial para la reutilización, que de llevarse a cabo, podría ayudar a reducir la demanda de agua y disminuir la vulnerabilidad de la ciudad.

Referencias

- Acosta, H. M. (1975). *Construcción de la ampliación del sistema de alcantarillado de aguas negras de la ciudad de Hermosillo, Sonora* [tesis, Universidad de Sonora]. Biblioteca digital Unison. <http://bidi.uson.mx/tesisDet.aspx?crit1=TITULO&texto1=Construcci%c3%b3n%20de%20la%20ampliaci%c3%b3n%20del%20sistema%20de%20alcantarillado%20de%20aguas%20negras%20de%20la%20ciudad%20de%20Hermosillo%20Sonora&crit2=TITULO&texto2=>
- Aguahh. (2005). *Estudio de diagnóstico y planeación integral del sistema de agua potable y saneamiento de Hermosillo, Sonora*. Hermosillo, Agua de Hermosillo para los Hermosillenses y Miranda, Arana y Velasco Ingeniería Integral-MAV.
- Aguinaga, Enrique de (2017). “La Bacinica”. *Crónicas del Estado*. Recuperado de <https://www.facebook.com/profile.php?id=100051408973245>
- BID, BanDAN y Ayuntamiento de Hermosillo. (2018). *Hermosillo a escala humana. Ciudad diversificada, innovadora y sostenible*. Hermosillo: Banco Interamericano de Desarrollo, Banco de Desarrollo de América del Norte y Ayuntamiento de Hermosillo.
- Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora (BOGES). (18 de enero 1930). *Código Sanitario del Estado de Sonora*. Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora.
- Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora (BOGES). (15 de febrero 1930). *Ley que aprueba el Reglamento para la Construcción de Albañales y Productos Desaguadores en el Estado de Sonora*. Hermosillo: Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora.
- Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora Unidad Hermosillo (COAPAES-H). (1997). *Proyecto de rehabilitación de la red de drenaje de 1997* (Documento interno). Hermosillo, Son.
- Conagua. (1991). La situación del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado al 31 de diciembre de 1990. México: Conagua.
- Conagua. (1992). La situación del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado al 31 de diciembre de 1991. México: Conagua.
- Conagua. (1993). La situación del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado al 31 de diciembre de 1992. México: Conagua.
- Conagua. (1994). La situación del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado al 31 de diciembre de 1993. México: Conagua.
- Conagua. (1995). La situación del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado al 31 de diciembre de 1994. Comisión Nacional del Agua. México: Conagua.

- Conagua. (1996). La situación del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado al 31 de diciembre de 1995. Comisión Nacional del Agua. México: Conagua.
- Conagua. (1997). La situación del subsector de agua potable y alcantarillado al 31 de diciembre de 1996. Comisión Nacional del Agua. México: Conagua.
- Conagua. (1998). La situación del subsector de agua potable y alcantarillado al 31 de diciembre de 1997. Comisión Nacional del Agua. México: Conagua.
- Conagua. (1999). La situación del subsector de agua potable y alcantarillado al 31 de diciembre de 1998. Comisión Nacional del Agua. México: Conagua.
- Conagua. (2000). La situación del subsector de agua potable y alcantarillado al 31 de diciembre de 1999. Comisión Nacional del Agua. México: Conagua.
- Conapo. (2000). *Índices de Marginación*. México: Conapo. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion
- Elías, R. (16 de septiembre de 1934). *Memoria General e Informe rendido por el C. Rodolfo Elías Calles, Gobernador Constitucional del Estado*. Hermosillo: Imprenta Cruz Gálvez.
- Félix-Rosas, H. (2010). *Cuando la muerte tuvo alas. La epidemia de fiebre amarilla en Hermosillo (1883-1885)*. Hermosillo: El Colegio de Sonora-Universidad de Sonora.
- Galaz, F. A. (1996). *Dejaron huella en el Hermosillo de ayer y de hoy*. Hermosillo: Gobierno del Estado de Sonora.
- Garibaldi, L. (1939). *Memoria de la Gestión Gubernamental del C. Gral. Román Yocupicio en el estado de Sonora*. Hermosillo: Imprenta J.C. Gálvez.
- Gobierno del Estado de Sonora. (agosto 19 de 1933). *Ley que autoriza al Ejecutivo del Estado para que acepte la cesión que le hace el Ayuntamiento de Hermosillo de los servicios de agua y drenaje de la ciudad*. Hermosillo: *Boletín Oficial* del Gobierno del Estado de Sonora.
- IMPLAN de Hermosillo. (2014). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo 2014*. Hermosillo: Instituto Municipal de Planeación de Hermosillo-Ayuntamiento de Hermosillo.
- INEGI. (1996). *Conteo 1995 de población y vivienda*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Lagarda, I., Vázquez, M. y Noriega, J. L. (2009). *Hermosillo a través de sus mapas*. Hermosillo: H. Ayuntamiento.
- Monteverde, J. y Morales, C. Testamento No. 1244 Año: 1904. *Testamentos de Sonora, 1786-1910*. El Colegio de Sonora. https://www.colson.edu.mx/testamentos/Consultas_nombre.aspx
- Navarro-Estupiñán, J., Robles-Morua, A., Vivoni, E. R., Espíndola-Zepeda, J., Montoya, J.A. y Verduzco, V. S. (2018). Observed Trends and Future Projections of Extreme Heat Events in Sonora, Mexico. *International Journal of Climatology*, 38(14), 5168-5181.
- Pineda, N. y Salazar, A. (2009). Notas para la historia de los servicios urbanos de agua potable en Sonora. Hermosillo. *XXXIV Simposio de Historia y Antropología. Tierra y agua: Protagonistas de la Historia*. Sociedad Sonorense de Historia.

- REPDA. (1994). *ISON100306/09HMSG94*. México: Registro Público de Derechos de Agua-Comisión Nacional del Agua.
- Rodríguez, C. y Rodríguez, M. (1998). Historia de la Salud Pública en México, siglos XIX y XX. *História Ciência Saúde Man-guinhos*, 5(2). <https://doi.org/10.1590/S0104-59701998000200002>
- Topete, F. (1928). *Informe que rinde el Gobernador Constitucional del Estado de Sonora a la XXIX Legislatura del mismo sobre los diversos ramos de la Administración Pública*. Hermosillo: Talleres Litográficos El Modelo.

Entrevistas

- Pineda, N. (14 de marzo de 2012). Entrevista a Nery García. Gerencia de Fuentes y Reúso de Agua de Agua de Hermosillo. Agua de Hermosillo, Sonora.

5. EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE HERMOSILLO

Contar con una planta tratadora de aguas residuales significa ventajas y beneficios para la ciudad de Hermosillo: primeramente, al disminuir los riesgos sanitarios se reducen también las alergias, las enfermedades gastrointestinales, oculares y de origen viral. La contaminación del aire también registra una baja considerable porque las aguas negras llegan por tubería a la planta y no permanecen a cielo abierto, evitando que el viento disperse las partículas insalubres al secarse; segundo, el agua que regresa al manto acuífero llega limpia, ayudando a que sea más rápido el proceso de recuperación y recargar los deteriorados cuerpos de agua de la región; tercero, con el agua tratada disponible se riegan parques y áreas verdes que han sido tradicionalmente escasos y poco atendidos en la ciudad; y cuarto, la disponibilidad de agua tratada a menor costo que el del agua potable invita al desarrollo industrial, comercial y agropecuario, con proyectos productivos que ofrecen mayor empleo y crecimiento económico para Hermosillo, por lo que el provecho es para todos. En general, el tratamiento de las aguas residuales y la mayor disponibilidad de aguas tratadas favorecen una mejor calidad de vida y el crecimiento sustentable de la localidad.

Este capítulo revisa la historia del tratamiento de las aguas residuales en Hermosillo. El objetivo de que la ciudad limpie sus aguas sucias no ha sido fácil de alcanzar. Al contrario, la ciudad de Hermosillo fue tal vez la última de las capitales estatales de México en contar con una PTAR y ha tenido que superar obstáculos e intentos fallidos para poder contar con un nivel de tratamiento que cumpla con las obligaciones establecidas por la ley mexicana. Recordemos brevemente que la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en su artículo 117, estipula que “las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo” (SEDUE, 1988, s. p.). Es así como a partir de esta normativa que los municipios urbanos tienen la obligación de limpiar y tratar las aguas residuales.

El presente capítulo se divide en tres secciones que corresponden a las tres etapas por las que transcurrió la meta de llevar a cabo la limpieza y el tratamiento de las aguas sucias de la ciudad. La primera trata el proyecto fallido de concesionar la construcción y operación de una PTAR a la empresa Protexa a partir de 1993. La segunda se refiere a los intentos de poner en práctica una estrategia de descentralización del tratamiento y de impulsar una diversidad de pequeñas plantas de tratamiento distribuidas en diferentes regiones de la ciudad. La tercera y última aborda al accidentado proceso de licitación y construcción de una PTAR que resolviera este problema urbano.

5.1. El primer intento: la planta de Protexa 1993-1997

El 2 mayo de 1993, la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora (COAPAES) publicó la convocatoria de licitación PROAGUA-93-002, con el objetivo de:

La prestación de servicios para la elaboración del proyecto ejecutivo, adquisición y entrega en comodato de terrenos, la construcción, equipamiento, tecnología, administración, operación, conservación, mantenimiento y en su caso, ampliación, rehabilitación y mejoramiento de planta, para la prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales y manejo de lodos del sistema de drenaje sanitario de Hermosillo, Sonora (TIASA, 1998, s. p.).

La entidad contratante era la COAPAES, dependencia del Gobierno del Estado a cargo de los servicios urbanos de agua potable y alcantarillado en todo Sonora. El gobernador era el Lic. Manlio Fabio Beltrones y el director de la dependencia era el C.P. José Godoy. A nivel nacional, Carlos Salinas de Gortari fungía como presidente de la República, cuya administración se había caracterizado, entre muchos otros rasgos, por reformas para impulsar la participación privada y la economía de mercado en los servicios de agua potable.

Habiendo concursado varias empresas, el 2 de febrero de 1994 se dio a conocer que la ganadora había sido Tecnología e Ingeniería Avanzada, S.A. de C.V. (TIASA) y que el costo ganador era de \$0.23 pesos por metro cúbico, que equivalían a una erogación de 1 509 962 pesos mensuales a partir de 1995 (Andrade, 1994; Verdugo, 1994). La empresa que obtuvo el contrato era filial del Grupo Protexa, con oficinas centrales en Monterrey, Nuevo León. Protexa comenzó como especialista en la producción de impermeabilizantes para uso residencial e industrial, pero a partir de 1955 amplió sus actividades hacia otros ramos de la construcción, sobre todo al tendido de ductos. El grupo prosperó y contaba con plantas industriales en Colombia, Argentina, Brasil, Chile, Venezuela e Italia. Se trataba de una sólida compañía de reconocido prestigio en su ramo (Grupo Protexa, 2015).

El contrato de construcción se firmó el 26 de mayo de 1994 y con ello la empresa se comprometía a invertir 53.6 millones de pesos en la PTAR de Hermosillo, para lo cual contaría con una línea de crédito de Banobras por el 70%, mientras que el monto restante debería aportarlo la misma TIASA. Con la finalidad de administrar la línea de crédito, el 5 de diciembre de 1994 se constituyó un fideicomiso de administración COAPAES-Banobras. Por otra parte, TIASA llevaba como asesora de tecnología y asistencia técnica a la empresa francesa SOGEA. La tasa de costo del dinero estimada en 1994 era de 9% anual. Se presentó también una fianza o garantía de seriedad por cinco millones de pesos (TIASA, 1998).

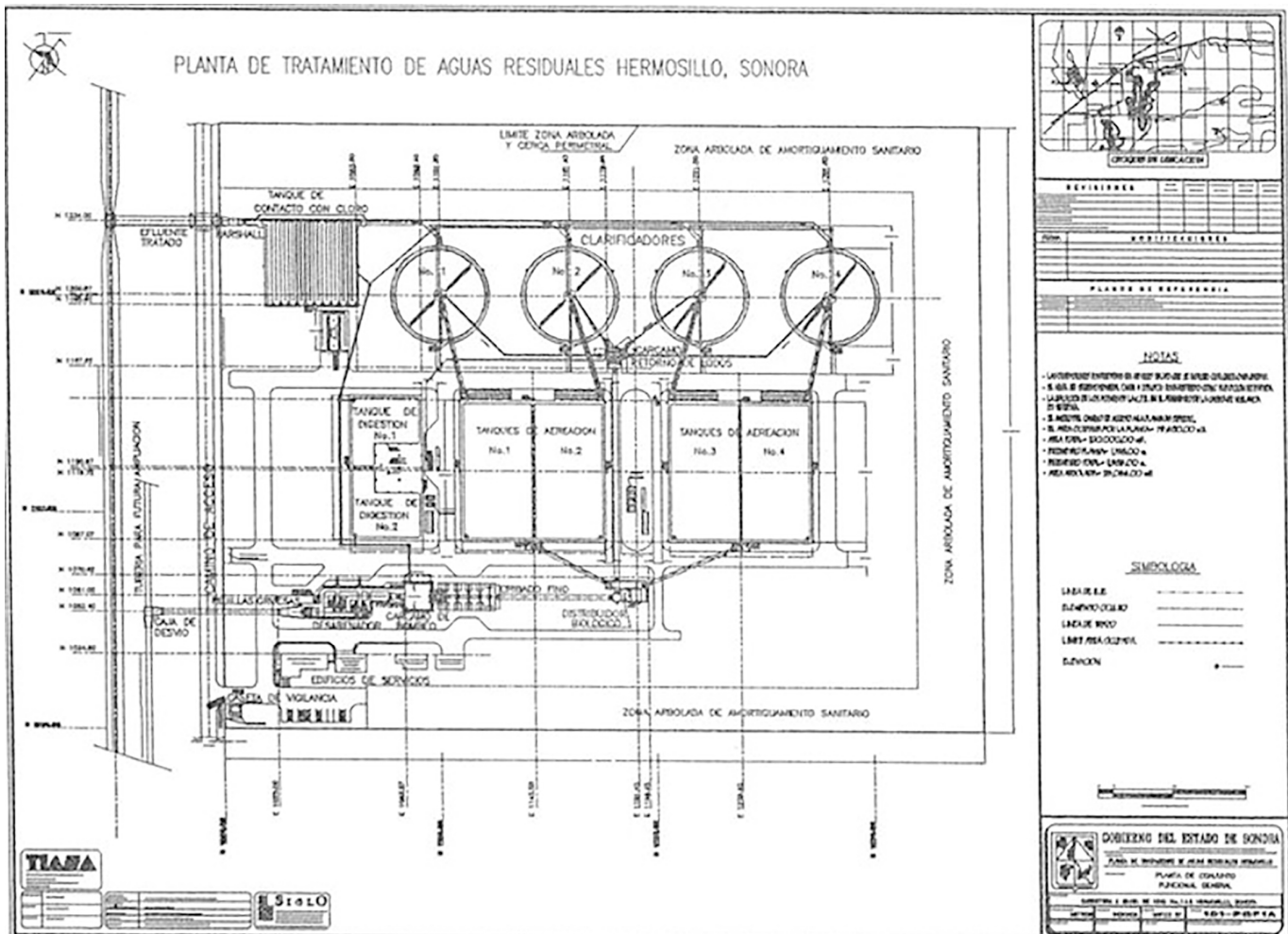
El plazo previsto para la edificación y equipamiento fue de 16.5 meses; puesto que el inicio se fechó en agosto de 1994, la planta debería estar concluida para diciembre de 1996. Después de terminar la obra estaba programado un lapso de dos y medio meses de pruebas de funcionamiento que correrían por cuenta del contratista y durante los cuales podría producir un efluente de calidad variable. Además, se consideraba un intervalo simultáneo de seis meses como etapa de regulación para lograr la correcta estabilización de los lodos. Luego de la etapa de pruebas la COAPAES, como contratante, comenzaría a pagar los gastos de operación aun si la planta no cumplía todavía con el caudal o la calidad previstos. De este modo, se preveía que la PTAR estaría concluida e inaugurada en el verano de 1997, justo antes de las elecciones de julio de ese año y unos meses previos a que terminara el sexenio del gobernador Beltrones, en septiembre.

El periodo de concesión era de 15 años, que se contabilizarían a partir de la fecha del acta de terminación. Esto significa que, a partir de 1997, la concesión estaría vigente hasta el año 2012. Una vez en operación, la planta tendría una capacidad para tratar 2.5 metros cúbicos por segundo, con base en un proceso de reactores de sedimentación, filtración y de lodos activados, y la empresa cobraría –en precios de 1994– una tarifa de \$0.23 pesos por metro cúbico de agua tratada (TIASA, 1998).

Por otra parte, la COAPAES se obligaba a construir un tubo para captar las aguas residuales de la ciudad y conducirlos a la planta, que tendría una longitud de ocho kilómetros de largo y un diámetro de 2.44 metros (Andrade, 1994; Rojas, 1994).

Hasta aquí la política y el proyecto estaban bien definidos, no se preveían mayores obstáculos para su implementación. Se habían puesto los medios y los recursos que llevarían a cumplir con la meta de que la ciudad de Hermosillo saneara sus aguas residuales; sin embargo, la implementación fue otra historia que hay que revisar.

Figura 5.1. Plano de la PTAR Hermosillo, 1994



Fuente: TIASA. Expediente de la obra de la obra PTAR Hermosillo, 1994.

5.1.1. La danza de los terrenos del ejido La Manga

El proyecto de PTAR se ubicaba en el lado norte de la carretera de Hermosillo a Bahía Kino, kilómetro 14.5, en terrenos expropiados al ejido La Manga en noviembre de 1994 (Registro Agrario Nacional-PHINA, 2019). Paralelo a la licitación y adjudicación se llevó a cabo un proceso de expropiación y traspaso de terrenos de dicho ejido, localizados al poniente de la ciudad de Hermosillo, con el objeto aparente de dotar de un terreno a la PTAR, así como de controlar las tierras colindantes a la obra.

En abril de 1994 el gobernador del estado, Manlio Fabio Beltrones Rivera, y el secretario de Gobierno, Roberto Sánchez Cerezo, celebraron un convenio con la mesa directiva del Comisariado Ejidal de La Manga, representada por los señores Cruz Dessens Flores, Manuel R. Corrales Martínez y Francisco Serrano Martínez (presidente, secretario y tesorero, respectivamente) a fin de concertar la expropiación de 430 hectáreas destinadas al emplazamiento de la PTAR. En el referido convenio se estableció lo siguiente:

- En la cláusula primera el ejido manifestó su plena anuencia para que el Gobierno del Estado de Sonora solicitara y se decretara a su favor la expropiación de 430-00-00 hectáreas pertenecientes al ejido y que colindan al norte y al oeste con terrenos del ejido, al sur con la carretera a Kino y al este con terrenos particulares, lo que hacía un área total de 438-00-00 hectáreas y restando una superficie de 8-00-00 hectáreas de un polígono interior denominado Los Bagotes para la construcción, instalación y explotación de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- En la cláusula segunda se aceptó que el monto de la indemnización correspondiente previamente convenido fuese de N\$1.50 (un nuevo peso 50/100 moneda nacional) por metro cuadrado y que debía ser el establecido en el decreto expropiatorio.
- En la cláusula tercera ambas partes convinieron en que 95% de la indemnización correspondiente se cubriría a favor del ejido, mediante la dotación de un volumen total de 29 178 571.00 m³ de agua, suministrados por la planta de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con las siguientes condiciones:
 - A. El valor por metro cúbico de agua sería de N\$0.21.
 - B. La dotación se suministraría por periodos anuales de 6 600 000 m³ de agua (209.3 lps), pudiendo además el ejido comprar en efectivo y a precio de mercado un volumen de 3 000 000 m³ de agua por año (95.13 lps), lo que elevaría la dotación anual a 9 600 000 m³, que equivalen a 304.4 lps.
 - C. El periodo de pago empezaría a contar a partir del momento en que la planta de tratamiento estuviera en condiciones de funcionamiento.
- En la cláusula sexta el Gobierno aceptó que la zona de amortiguamiento o cordón ecológico requerido para que operara la planta debía situarse dentro del límite de la superficie solicitada en expropiación, lo cual significaba que por ningún motivo y bajo ninguna perspectiva se afectaría el área circundante de dicha superficie.
- En la cláusula séptima el Gobierno aceptó que en caso de que la planta de tratamiento no entrara en operación en un plazo máximo de dos de años, contados a partir de la firma del convenio, los bienes expropiados se revertirían a favor del ejido, quedando igualmente a su favor las mejoras y modificaciones que se hubieran efectuado en la superficie expropiada, pudiendo poseerlas de manera inmediata, comprometiéndose además a transmitírselas en propiedad.

- En la cláusula novena el Gobierno asumía que el incumplimiento total o parcial en el suministro del agua en los términos propuestos lo haría acreedor a la pena convencional consistente en el pago de cinco veces el valor en el mercado de la superficie expropiada, sin que por ninguna razón dicho valor pudiera ser inferior a N\$15 000.00 por hectárea (Aguahh, 2005, p. II.272).

Con base en este convenio, el 14 de noviembre de 1994 el Ejecutivo federal emitió un decreto de expropiación a favor de Gobierno del Estado de Sonora de la superficie de 430 hectáreas de terreno del ejido La Manga, señalando una indemnización de 6 millones 450 mil pesos que el beneficiario debería pagar a los ejidatarios con intervención del Fideicomiso Fondo Nacional de Fomento Ejidal (Fifonafe) (Registro Agrario Nacional-PHINA, 2019; Jardines, 2020).

El 29 de abril de 1995, la Secretaría de Finanzas expidió el cheque número 031072 por la cantidad antes mencionada, librado el 29 de abril de 1995 a favor del ejido La Manga y a cargo del Banco Nacional de México, con el fin de aparentar ante el Fifonafe que se cubría la indemnización por la expropiación de las 430 ha, de acuerdo con lo ordenado por el decreto de expropiación, pero el pago en realidad no se hizo (Jardines, entrevista personal, 2020).

En lo que respecta a los terrenos expropiados, Gobierno del Estado los distribuyó de la siguiente forma (Aguahh, 2005, p. II.272):

1. Para la Planta de Tratamiento, un total de 40 ha.
2. Para un grupo de damnificados que vivían en el Huical, localidad que se ubica en el cauce del río Sonora, aguas abajo de la presa “Abelardo L. Rodríguez”, un total de 30 ha.
3. Donación a la CFE para instalar una planta termoeléctrica, un total de 30 ha.
4. Pago a acreedores del gobierno que resultaron ser varias empresas inmobiliarias recién constituidas, un total de 330 ha.

En 1997, la Comisión Estatal de Bienes y Concesiones transfirió la propiedad de esos terrenos a los damnificados, a la Comisión Federal de Electricidad y a los acreedores del gobierno (Aguahh, 2005; Jardines, entrevista personal, 2020). Es importante mencionar que con estas entregas se modificaba el objeto de la expropiación para fines de utilidad pública, desviándola para pagar deuda estatal, indemnizaciones y otros propósitos.

Por su parte, en seguimiento al destino de los terrenos expropiados, se pudo conocer que la CFE traspasó sus 30 hectáreas a Unión Fenosa para instalar una planta de generación de energía eléctrica. Asimismo, en los últimos meses del sexenio, la Comisión Estatal de Bienes y Concesiones cedió la propiedad de casi 329 hectáreas de ese terreno a favor de las empresas inmobiliarias que fueron constituidas para tal fin. Una fue la Inmobiliaria Regional del Noroeste, creada el 5 de septiembre de 1997, que tenía como administrador único al Ing. José Ma. Gallegos Campoy. Días después de integrada, el 26 de septiembre de 1997 esta inmobiliaria registró ante el mismo notario la propiedad de 238-61-92.21 hectáreas. La otra empresa fue Urbanizadora y Desarrolladora de Sonora, constituida el 29 de agosto de 1997, cuyo administrador único era el C.P. Pablo Joel Cisneros Garay, y que el 8 de octubre de 1997 registró la propiedad de 90 hectáreas (Gobierno del Estado de Sonora, 1997).

Con estas dos empresas inmobiliarias a las que se les había cedido la mayor parte del terreno, el 13 de octubre de 1997, en los últimos días de su gobierno, Manlio Fabio Beltrones firmó un convenio autorizándolas a vender lotes para la industria mediana y ligera con miras a desarrollar el Parque Industrial Aeropuerto (BOGES, 16 de octubre de 1997).

Como puede verse, tanto la constitución de las dos empresas, como el registro de las propiedades y el desarrollo del parque industrial aledaño a la PTAR se efectuó en cuestión de dos meses, que eran los finales del sexenio.

En lo que respecta a los ejidatarios expropiados de La Manga, desde un principio un grupo de ellos no respaldó el convenio de abril de 1994, pero para mediados de 1996, al cumplirse dos años del acuerdo y al ver que la construcción de la planta estaba detenida por problemas financieros, todo el ejido La Manga se inconformó por el incumplimiento de las cláusulas séptima y novena.

A fin de resolver la problemática expuesta con el ejido, Gobierno del Estado les ofreció apoyarlos con los trabajos técnicos, asesoría legal y gestión ante la Procuraduría Agraria, el INEGI y el Registro Agrario Nacional para que fueran integrados al programa de PROCEDA y obtener sus certificados parcelarios. De igual manera, en 1997 la Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología y la COAPAES les entregaron certificados de derechos de agua como usuarios del Distrito de Riego de la Presa, por un total de 1.7 m³/seg. (o 1 700 lps), con el fin de que tuvieran asegurados tales derechos (Aguahh, 2005, p. II.272). Esto significó que no pagarían con agua de la PTAR en construcción, sino que se regresaba nuevamente a la dotación de aguas negras, como estaban antes, pero ahora habiéndoles expropiado 430 hectáreas de su territorio.

En agosto del 2000, oficialmente el Fifonafe respondió a los ejidatarios de La Manga en el sentido de procedencia a exigir al Gobierno del Estado de Sonora la devolución del terreno expropiado. Dos o tres meses después el ejido promovió una demanda ordinaria civil contra el gobierno sonorense por el incumplimiento del convenio celebrado en abril de 1994.

Para la realización de este trabajo no se obtuvo información sobre el curso de esta demanda ni sobre cómo se resolvió finalmente. Lo que está claro es que los terrenos expropiados ya no volvieron al ejido.

5.1.2. Complicaciones financieras retrasan la obra

El contrato de construcción de la PTAR de Hermosillo se firmó el 26 de mayo de 1994 y en agosto siguiente se inició la obra. Sin embargo, en diciembre de ese mismo año, el primer mes de la administración del presidente Ernesto Zedillo, estalló la crisis económica mexicana conocida como el “error de diciembre”, provocada por la falta de reservas internacionales de México que desencadenó la abrupta devaluación del peso mexicano y tuvo repercusiones en otras partes del mundo, conocidas como el “efecto Tequila”. Entre las consecuencias de esta crisis estuvieron que el peso se devaluó de 3.40 a 7.20 por dólar en tan solo unas semanas. Asimismo, en 1995 la inflación alcanzó una tasa de 52% (Banco de México, 1996).

Este nuevo entorno financiero crítico motivó que el contrato de la planta de Protexa tuviera que ser revisado de acuerdo con las nuevas circunstancias. Fue así como el 3 de mayo de 1996 se firmó un convenio modificatorio del contrato, a fin de ajustar las estimaciones financieras según el nuevo contexto. El monto modificado de la inversión fue de 128.3 millones de pesos y la nueva tarifa por metro cúbico de agua tratada era de \$0.54 pesos. Esto representó un incremento de más del doble en ambos costos (TIASA, 1998).

Aunque no se cuenta con información detallada del flujo de fondos y de la contabilidad de la ejecución del proyecto, hay indicios de que el dinero no fluyó como estaba programado y de que la inflación y la crisis financiera afectaron gravemente el calendario de construcción.

Un aspecto que resultó problemático fue el pago de la supervisión de la obra. Se suponía que entre las funciones de la contratante COAPAES estaba también la de subcontratar a otra empresa constructora para que realizara las tareas de inspección y verificación de la calidad del proyecto y que esta contratación era con cargo a TIASA. Con este objetivo la COAPAES había contratado a la empresa *Índico Internacional Ingeniería*, pero el 24 de julio de 1997 esta se quejó de que no le estaban pagando y de que le debían más de la mitad de lo acordado. En esa fecha su director general, Reynaldo Enríquez, envió al director de la COAPAES el estado de cuenta de lo que, de acuerdo con la cláusula tercera del contrato, le adeudaban por concepto de sus servicios y le solicitó regularizar la situación. De un total de 3 883 413 pesos, la empresa supervisora solo había recibido 1 600 531 pesos. Informó también que la obra iba muy retrasada, que no tenía fecha para ponerse al día y que, con base en eso, solicitaban suspenderla en virtud de no estar definidos los plazos de conclusión de la planta ni la forma de pago de sus servicios (TIASA, 1998).

5.1.3. Suspensión y saldo financiero de la obra

El 8 de agosto de 1997, casi para finalizar la administración estatal del gobernador Beltrones, el Director General de COAPAES Sonora, por medio del oficio CO-97-193, informó a TIASA que “con motivo del incumplimiento del pago que por concepto de supervisión se contempla en dicho contrato y al no poder este organismo hacer frente a ese gasto, hemos tomado la determinación de suspender la supervisión y por lo tanto la ejecución de la obra” (TIASA, 1998, s. p.).

El 20 agosto de 1997, el superintendente del proyecto dirigió un escrito a la COAPAES Sonora refiriendo que “con respecto a su carta con ref. CO-97-193 en donde indica suspender la ejecución de la obra por motivo de incumplimiento del pago de la supervisión”, le informa que a la fecha TIASA no tenía ningún adeudo por ese concepto y anexó el estado de cuenta donde mostraba el pago de la supervisión. Dicho de otro modo, el adeudo de 2 282 882 pesos a la empresa supervisora estaba perdido; la constructora lo había pagado pero no había llegado a la entidad supervisora. A partir de este diferendo y con el cambio de gobierno estatal que sucedió el 22 de octubre de 1997, la obra quedó oficialmente interrumpida (TIASA, 1998).

En cuanto al avance y situación general de la obra, el 17 diciembre de 1997 se celebró la octava reunión del Comité Técnico del Fideicomiso Núm. 1848 relacionado con la PTAR Hermosillo para evaluar la situación. Ahí se informó que el avance de la construcción, la cual debía de haberse concluido seis meses antes, era de solo 48% y que las actividades de construcción se habían detenido desde el 3 de noviembre por falta de recursos para compra de materiales. Ya se contaba con la totalidad de la obra de ingeniería y se habían colocado las órdenes de compra de los equipos de proceso, pero estaban suspendidas las compras por un valor de más de 7 millones de pesos debido a que la COAPAES no había liberado estas estimaciones. Al no hacerlo, el crédito se había bloqueado y se habían parado los trabajos por falta de recursos. Además, la COAPAES tenía pendiente colocar 500 metros de tubería de acero de 96 pulgadas de diámetro del emisor principal hasta la entrada de la planta, así como también faltaba construir la obra de salida para la conducción del agua tratada. Tampoco estaba definido todavía el terreno en donde se dispondrían los lodos producto de la planta de tratamiento (TIASA, 1998).

En cuanto al estado de las finanzas respecto del préstamo recibido de Banobras, el 26 de marzo de 1998 el Gerente de Administración Crediticia de dicha institución dirigió una carta a TIASA (Ref. 113100/425/186/98) en la que le expresaba:

Hacemos referencia al crédito autorizado hasta por la cantidad de \$200.05 millones de pesos, por esta Institución, para la construcción, equipamiento y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en Hermosillo, Son., el cual concluyó su período de inversión el pasado 28 de febrero con un importe de \$88 524 279.03. Sobre el particular y conforme a las cláusulas del contrato respectivo, me permito hacer de su conocimiento el monto a su cargo con vencimiento el día 30 de los corrientes:

Capital vigente	88'524 279.03
Monto de la primera amortización	1'507 895.47
Intereses normales generados del 28-02-98 al 30-03-98, 30 días a la tasa de 24.63% anual	1'816 223.12
Total	3'324 118.59 (TIASA, 1998, s. p.).

Dicho en otras palabras, de la línea de crédito autorizada, hasta febrero de 1998 se dispuso de un total de 88.5 millones de pesos. Para cubrir este préstamo, el 30 de marzo de ese mismo año se tenía que hacer un primer pago que, incluyendo intereses, ascendía a 3.3 millones de pesos. No contamos con información de lo que sucedió después ni tampoco con las parcialidades a cubrir.

Por otra parte, en la revisión que se hizo de la prensa de Hermosillo de los meses de septiembre de 1997 a marzo de 1998 no se encontraron notas de prensa ni sobre la suspensión de la obra ni respecto a los problemas financieros enfrentados. Esto nos permite observar que aunque se emitieron boletines de prensa sobre la licitación y el inicio de la construcción de la PTAR, no se difundió información sobre la suspensión ni acerca de los problemas financieros de la obra.

El 22 de octubre de 1997 hubo cambio del gobierno estatal de Sonora. La memoria sexenal del periodo 1991-1997, publicada por Gobierno del Estado a manera de constancia de las acciones y logros alcanzados durante esa administración, no menciona la construcción de la PTAR Hermosillo y solo proporciona el dato de que el tratamiento de aguas residuales se incrementó de 674 litros por segundo en 1991 a 1 265 litros por segundo en 1997 (Beltrones, 1997, p. 158).

El resultado concreto es que la edificación se suspendió definitivamente a fines de 1997. Hermosillo continuó sin tratamiento de aguas residuales y los 88.5 millones de pesos fueron un gasto inútil con cargo al erario. La construcción quedó a medias y abandonada. A poco más de dos décadas después se pueden apreciar las ruinas de estas obras en la parte poniente del aeropuerto de Hermosillo.

Tabla 5.1. Principales eventos de la construcción de la PTAR Hermosillo 1992-1998

Fecha	Elementos de contexto	Hitos de la PTAR	Notas de prensa publicadas
14-oct-93		Concurso de licitación para construir una PTAR para Hermosillo	15 de octubre de 1993: Notas en <i>El Nacional</i> y en <i>El Sonorense</i>
02-feb-94		Fallo del concurso a favor de Protexa	3 de febrero de 1994: Notas en <i>El Nacional</i> y <i>El Sonorense</i>
04-may-94		Carta compromiso del cliente.	25 de mayo de 1994: Nota en <i>El Independiente</i>
26-may-94		Firma del contrato	
18-nov-94		Contrato estado de Sonora-COAPAES-TIASA	22 de noviembre de 1994: Notas en <i>El Independiente</i> y <i>El Cambio</i>
05-dic-94		Constitución Fideicomiso Administración - TIASA-Banobras	No aparecieron notas en la prensa local
dic-94	Inicio de crisis financiera mexicana		
03-may-96		Se firma una revisión del contrato para ajustar estimaciones financieras	No aparecieron notas en la prensa local
08-ago-97		COAPAES decide suspender la ejecución de la obra	No aparecieron notas en la prensa local
16-oct-97		Gobierno del estado de Sonora firma convenio con inmobiliarias para la creación del Parque Industrial Aeropuerto en terrenos aledaños a la PTAR.	No aparecieron notas en la prensa local
23-oct-97	Cambio de gobierno en el estado de Sonora		Se publica la Memoria del Gobierno sin mencionar la PTAR
17-dic-97		Octava reunión del Fideicomiso Técnico de la obra con reporte financiero	No aparecieron notas en la prensa local

Fuente: elaboración propia con base en documentos del expediente de obra (TIASA, 1998) y notas de prensa.

A manera de conclusión es posible establecer que, hasta donde se puede apreciar, el factor principal que obstaculizó la construcción de esta planta fue la crisis financiera de la economía mexicana iniciada en diciembre de 1994. Dicha crisis trastornó el programa de recursos del proyecto e hizo que no se cumpliera con los plazos y los pagos de manera oportuna. En este manejo financiero, de acuerdo con la documentación revisada, la dependencia estatal denominada COAPAES no cumplió con sus compromisos y tampoco construyó la parte que le correspondía, por ello no se siguió el calendario establecido para la construcción y al final del sexenio 1991-1997 el avance de la obra era de solo 48%. Esta se tuvo que suspender por falta de fondos y no se alcanzó el objetivo de que la ciudad de Hermosillo contara con una PTAR para el año 2000, fijado como plazo para la

operación de la planta. En donde se encuentran aspectos más oscuros es en la danza de los terrenos del ejido La Manga y la compensación que se le debió pagar al ejido. Ahí se advierte que hubo tráfico e intereses privados ajenos al objeto de la expropiación de los terrenos.

Viendo más al fondo lo que se observa es que las obras hidráulicas no pueden reducirse a meros detalles de ingeniería, sino que también responden a un entorno institucional y, sobre todo, al régimen de poder; es decir, la vigilancia y contrapesos que se ejercen sobre el gobierno. El proyecto no cumplió el objetivo propuesto de dotar de una PTAR a la ciudad de Hermosillo antes del año 2000. Las causas de la falla se ubican principalmente fuera del ámbito de la política y se relacionan con la crisis nacional de 1994. Este fue un costo más de una mala política económica nacional y un caso de dinero público echado a la basura.

5.2. El segundo intento: descentralización del saneamiento (1999-2006)

En vista de la cancelación de la construcción de una gran PTAR para Hermosillo, a partir de 1999 la Unidad Hermosillo de la COAPAES orientó sus esfuerzos a la instalación de plantas pequeñas y medianas distribuidas en diferentes puntos dentro de la ciudad. Esta estrategia descentralizada de tratamiento incluía tanto plantas operadas por el gobierno local, en este caso el estatal por medio de la COAPAES, como otras operadas por instituciones y organizaciones privadas, entre ellas escuelas, clubes y asociaciones civiles. La ventaja principal era que acercaba el tratamiento de las aguas residuales a su posible reutilización en el riego de áreas verdes y otros fines, de manera que se reducían los costos del bombeo de una línea morada que tendría que transportar el agua tratada por largas distancias. Consistía entonces en una iniciativa que al menos en teoría y en proyecto se percibía muy pertinente y efectiva; sin embargo, el entorno político y la dinámica que se suscitó no favoreció su realización.

5.2.1. Los conflictos por las plantas de la Unison y de Bachoco

Para comprender mejor el conflicto en torno a este proyecto hay que recordar el contexto de competencia y oposición política entre el gobierno estatal, emanado del PRI (Partido Revolucionario Institucional), y el gobierno municipal del PAN (Partido Acción Nacional) que prevalecía en esos años. Hacia fines de la década de los 90 del siglo XX la hegemonía del PRI vivía sus últimos años y existía una gran rivalidad y desconfianza hacia las autoridades gubernamentales, principalmente de ese partido. A nivel local, la oposición era detentada principalmente por el PAN. Este entorno político hacía que los proyectos propuestos por los gobiernos priistas fácilmente despertaran suspicacia y fueran rechazados por grupos y sectores de la sociedad civil. Hay que recordar, asimismo, que el PAN ganó la presidencia de la República en julio de 2000 y que esto empoderó aún más a la oposición panista en el estado de Sonora.

En el caso que nos ocupa, en el trienio 1997-2000 el gobierno estatal se encontraba en manos del PRI, el gobernador era Armando López Nogales (1997-2003). De la administración del estado dependían tanto la Secretaría de Desarrollo Urbano como la COAPAES, que eran las entidades encargadas de resolver el asunto del tratamiento de las aguas residuales de Hermosillo. El director de la COAPAES en Sonora era César Lagarda Lagarda y el administrador de la Unidad Hermosillo de la COAPAES era Carlos Daniel Fernández Riesgo. Por otra parte, a nivel municipal, el presidente era el panista Jorge Valencia Juillerat. No resultaba extraño entonces que las políticas del gobierno estatal fueran cuestionadas por el gobierno local y los grupos ciudadanos afines.

En lo que respecta al tratamiento de las aguas residuales de Hermosillo, una vez que se canceló el proyecto de la PTAR de Protexa, la Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología (SIUE) y la COAPAES Hermosillo, dependientes de Gobierno del Estado, impulsaron la idea de instalar una diversidad de pequeñas plantas públicas y privadas para la ciudad. De este modo, en septiembre 1999, el Ing. Fernández Riesgo, administrador de la COAPAES Hermosillo, hizo público un programa para construir 10 plantas tratadoras distribuidas en toda la localidad, en las que se invertirían \$7 737 000. Tal vez para hacer más comprensible el proyecto, a estas plantas también se les llamaba “recicladoras” de agua residual. Su diseño era conocido como “flotación por aire disuelto”, basado en un proceso fisicoquímico que separa las partículas sólidas de las líquidas mediante la adición de burbujas muy finas de aire; el proceso comprendía una tina con capacidad de 100 litros. Las plantas recicladoras requerían una fuente de energía eléctrica de seis caballos de fuerza. El tiempo del proceso era de cuatro minutos para producir 12 lps, de los cuales eran aprovechables 11.5 litros; de cada 100 litros se aprovechaban 99 y se desechaba uno. Se estimaba que el costo del agua reciclada era 40% más económico que el agua normal de la red. La inversión calculada era de 3 500 pesos por planta y el proveedor era Krofta, con experiencia en 95 recicladoras en México. El agua reciclada podía utilizarse para regar jardines, llenar albercas, baños y mingitorios, así como para lavar autos y en la construcción de edificios (Arredondo, 1999).

Como se mencionó anteriormente, la COAPAES Hermosillo planeaba colocar un total de 10 plantas, entre las cuales estaban las siguientes:

1. Universidad de Sonora
2. Colonia Bachoco
3. Colonia Sierra Vista
4. Parque Industrial
5. Parque La Saucedá
6. Centro de Usos Múltiples
7. Gimnasio Polifuncional Altares (Arredondo, 1999).

El 19 de octubre de 1999, al anunciarse la inauguración de la primera planta en el campus de la Universidad de Sonora, ubicada en la esquina del bulevar Colosio y Sahuaripa, los vecinos de las colonias aledañas consideraron que el tratamiento de aguas residuales cerca de sus casas les afectaba y se movilizaron para impedir la operación de dicha planta. Los habitantes argumentaron que no habían sido consultados y que su rechazo era porque despedía malos olores y devaluaba sus viviendas. Además de manifestarse frente a la planta y establecer un plantón que duró varios meses, los inconformes promovieron un amparo y presentaron una queja ante la Comisión Estatal de Derechos Humanos.

Otro elemento que se introdujo en el conflicto fue el permiso de uso de suelo que debía de otorgar el gobierno municipal. El problema escaló, de modo que tuvieron que intervenir el secretario de la SIUE, Manuel Ibarra Legarreta, y el secretario de Gobierno, Oscar López Vucovich, tratando de convencer a los vecinos de que la planta no ocasionaba daños. La Comisión Estatal de Derechos Humanos (CEDH) emitió una recomendación en contra de la SIUE y del Ayuntamiento de Hermosillo por considerar que la planta tratadora de aguas era ilegal al no estar contemplada en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano. El municipio no respondió a esta recomendación, pero la SIUE decidió rechazarla bajo el argumento de que la obra reunía todos los requisitos

legales. Ante esta respuesta, la CEDH remitió el asunto a la Comisión Nacional de Derechos Humanos (Ponce de León, 2000). El asunto se prolongó judicialmente durante 14 meses hasta que finalmente el Tribunal Colegiado del Quinto Circuito resolvió a favor de los vecinos.

La planta de la esquina de Colosio y Sahuaripa, localizada en el campus de la Unison, solo funcionó durante un mes de prueba antes de su fallida inauguración y nunca operó formalmente. El costo de la inversión fue de 4 millones de pesos. El 21 de diciembre de 2000, el siguiente administrador de la COAPAES Hermosillo, Enrique Flores López, aceptó cancelar el proyecto y tuvo que dismantelar la planta, demoler la obra civil y reubicar las partes mecánicas y eléctricas en la planta de La Saucedá (Peralta, 2001; Salazar, 2001).

Tabla 5.2. Principales eventos del conflicto por la planta tratadora en el campus de la Unison

19 oct 1999	El director de la COAPAES Hermosillo, Carlos D. Fernández Riesgo, anunció que únicamente faltaban pequeños detalles para que empezara a funcionar la planta tratadora de aguas negras de la Universidad de Sonora.
24 oct 1999	Vecinos de las colonias Valle Grande, Valle Escondido y Los Arcos acordaron iniciar una movilización ciudadana para evitar que funcionara la planta.
26 oct 1999	Los vecinos inconformes se manifestaron durante casi una hora afuera de la planta y mantuvieron un plantón permanente.
1 nov 1999	Los vecinos promovieron un amparo en los Juzgados de Distrito en contra de la instalación de la planta, con el argumento de que afectaba la salud y dañaba su patrimonio.
14 nov 1999	Los vecinos de la colonia Villa Satélite se sumaron a la inconformidad con la planta.
15 nov 1999	El cabildo del Ayuntamiento suspendió provisionalmente la licencia de uso del suelo a la COAPAES por no contar con el permiso de construcción de la planta tratadora de aguas negras ubicada en bulevar Colosio y Sahuaripa.
21 ago 2000	La CEDH emitió una recomendación de reubicación de la planta. Esta recomendación fue rechazada por la SIUE.
21 dic 2000	El administrador de la COAPAES Hermosillo, Enrique Flores López, aceptó dismantelar la planta y reubicarla en los terrenos de La Saucedá.
3 ene 2001	Desmantelan la planta tratadora localizada en las calles Colosio y Sahuaripa.

Fuente: elaborado con base en notas de *El Imparcial* (9 de noviembre de 1999, 17 de enero de 2000 y 4 de enero de 2001).

Un inconveniente similar con el mismo resultado se vivió también en la planta proyectada para construirse en la colonia Bachoco, en el bulevar José López Portillo entre calle 3 y Baviácora. El proyecto fue rechazado por los vecinos de las colonias aledañas Sierra Blanca, Cuatro Olivos y Loma Blanca. Al final la construcción se suspendió y el proyecto se tuvo que cancelar (Hurtado, 1999).

Este tipo de resistencia por justicia ambiental está bien documentado en la literatura y se le conoce como el síndrome de “no en mi patio” o “not in my backyard” (NIMBY, por sus siglas en inglés), que tiene múltiples facetas, pero en todos los casos se caracteriza por las compensaciones que se deben buscar entre los beneficios indirectos a toda la ciudad y las afectaciones que sufren las familias que viven más cerca de las PTAR (Gerrard,

1993). A más de 20 años de distancia y sin el calor de la competencia y la oposición política que prevalecía entonces, no está claro si la queja de los malos olores era real o exagerada, aunque las autoridades de la SIUE y de la COAPAES siempre sostuvieron que no era cierta. Hay otras opiniones en cuanto a que la tecnología propuesta, de origen alemana, era obsoleta y que iba a dar problemas para su mantenimiento (Vázquez, 1999); otros piensan que la oposición pudo haberse solventado si la planta se hubiera construido dentro del campus universitario, pero en otro sitio más alejado de las viviendas particulares, como en efecto se hizo posteriormente con una PTAR instalada cerca del estacionamiento del Gimnasio Universitario (aunque esta planta, a pesar que se construyó hace más de 10 años, no se ha echado a andar). La propuesta de establecer plantas pequeñas y medianas, si se libran los argumentos de los malos olores y la devaluación del patrimonio aledaño y se obtiene el apoyo de los vecinos, continúa siendo una alternativa atractiva y pertinente para la ciudad. Tal vez es una cuestión de adquirir cultura ambiental en los temas del saneamiento urbano.

5.2.2. Otras pequeñas plantas públicas y privadas

Ante la carencia de tratamiento de aguas residuales en la ciudad, se promovió y se dio amplia difusión a la construcción de plantas pequeñas tanto por parte del mismo organismo de agua, como de entes privados, como fraccionamientos, instituciones educativas e industrias. La primera de ellas la instaló en 1993 el club de golf Los Lagos, con una capacidad para tratar 80 lps y tratar operativamente 60 lps, utilizados para regar el campo de golf y mantener un lago artificial.

Tabla 5.3. Eventos de las plantas medianas y pequeñas de Hermosillo 1993-2012

1993	Se construye la primera PTAR con fines particulares para riego de áreas verdes en el club de golf Los Lagos, con capacidad de 100 lps.
1999	Se construye e inicia operaciones en etapa de prueba la planta Krofta de la Unison, pero sale de operación por conflicto con los vecinos. Tenía una capacidad de 12 lps. Se desmanteló en el año 2000, lo mismo sucedió con otra planta en la colonia Bachoco.
2000	Se construye la PTAR de Unión Fenosa para reúso de las aguas tratadas en los procesos de enfriamiento durante la generación de energía eléctrica. Su capacidad es de 110 lps.
2000	Se construye la PTAR en El Colegio Regis para reúso de agua en áreas verdes internas, con capacidad de 1.5 lps.
2003-2005	Se construye la PTAR y red morada en la zona industrial del bulevar Mazón y en la zona educativa Instituto Tecnológico de Monterrey y Universidad del Valle de México de San Pedro El Saucito; se queda detenida, sin operar.
2006-2007	Se construye y pone en marcha la PTAR Los Arroyos para reúso de aguas tratadas con calidad NOM-003 y red morada, con una capacidad instalada de 115 lps.
2008	Se pone en marcha, una vez rehabilitada, la PTAR de San Pedro El Saucito con efluente de calidad NOM-003, con capacidad de 15 lps para reúso directo.
2009-2010	Se construye y pone en marcha la PTAR del Centro de Usos Múltiples para reusar aguas en áreas verdes y campos deportivos con calidad NOM-003 y una producción de 3 lps.
2010-2011	Se construye y pone en operación la PTAR de La Saucedo con calidad NOM-003 y red morada, para reúso de aguas tratadas con una capacidad instalada de 50 lps.

Fuente: elaborado con base en Agua de Hermosillo y El Colegio de Sonora (2017, pp. 23-24).

Hacia 2005 existían 14 pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales, de estas solo la del fraccionamiento Oasis del Pitic fue construida por el gobierno municipal, mientras que las demás son resultado de inversión privada de particulares o de instituciones no gubernamentales.

De las 14 plantas, solo dos –que pueden considerarse de tamaño mediano– tratan agua residual externa en sus instalaciones y su influente (aguas negras sin tratamiento) es tomado de la red de drenaje de la ciudad. Estas son las de Unión Fenosa, construida en el año 2000, que recibe agua del emisor general, y la de Los Lagos, construida en 1993, que trata agua que toma del colector Norte. El resto puede considerarse pequeñas, por los reducidos volúmenes que tratan y que se destinan a limpiar y a aprovechar las aguas residuales internas generadas por las propias instituciones u organizaciones (Aguahh, 2005).

Otras dos plantas, la de Coca Cola y la de Ford, están destinadas a depurar sus propias aguas residuales industriales antes de descargarlas a la red de drenaje de la ciudad, a fin de cumplir con lo que dispone la NOM-002-SEMARNAT 1996. Las demás plantas se rigen por los parámetros de la NOM-003-ECOL-1997, ya que el reúso del agua tratada está destinado al riego de áreas verdes.

La mayoría utiliza el proceso de lodos activados para tratar las aguas. Únicamente tres emplean la técnica de biólisis o fosa séptica y la de la Ford sigue un proceso fisicoquímico (Aguahh, 2005).

Tabla 5.4. Pequeñas plantas de tratamiento privadas existentes en 2005

	Nombre de PTAR	Fuente de agua residual	Proceso de tratamiento	Capacidad de diseño (lps)	Tratamiento real (lps)	Uso
1	Unión FENOSA	Emisor general	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida y remoción de nitrógeno	110	56	Proceso de la planta en la generación de vapor y enfriamiento
2	Los Lagos	Colector Norte	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	80	60	Riego de áreas verdes, árboles, campos deportivos y almacenamiento en lagos
3	Colegio REGIS	Aguas residuales del plantel. Colector 45 cm.	Lodos activados, modalidad aireación extendida	1.5	0.8	Riego de áreas verdes y campos deportivos
4	Aeropuerto	Descarga aeropuerto	Lodos activados, modalidad aireación extendida	2.5	2.5	Riego de áreas verdes y árboles
5	Oasis del Pitic	Colector de 76 cm	Lodos activados, modalidad aireación extendida	2.5	1	
6	COSTCO	Agua residual del centro comercial	Lodos activados, modalidad operación secuencial (SBR)	0.024	0.024	Riego de áreas verdes y árboles
7	Araiza Inn	Agua residual del hotel	Lodos activados, modalidad aireación extendida	0.185	0.185	Riego de áreas verdes
8	Instituto Vanguardia (Plantel Colosio)	Agua residual del plantel	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	0.08	0.08	Riego de áreas verdes, árboles y campos deportivos

	Nombre de PTAR	Fuente de agua residual	Proceso de tratamiento	Capacidad de diseño (lps)	Tratamiento real (lps)	Uso
9	Instituto Vanguardia (Plantel Navarrete)	Agua residual del plantel	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	0.05	0.05	Riego de áreas verdes, árboles y campos deportivos
10	Instituto Tecnológico de Hermosillo (ITH)	Agua residual del plantel	Biólisis (fosa séptica)	0.05	0.05	Riego de áreas verdes, árboles y campos deportivos
11	COBACH Villa de Seris	Agua residual del plantel	Biólisis (fosa séptica)	0.58	0.58	Riego de áreas verdes, árboles y campos deportivos
12	CBTIS 206	Agua residual del plantel	Biólisis (fosa séptica)	0.012	0.012	Riego de áreas verdes, árboles y campos deportivos
13	Coca-Cola	Agua residual de proceso	Lodos activados, en dos etapas, carga alta y carga baja	15	7	Cumplir con la norma, descarga al alcantarillado público
14	Ford Motor Company	Agua residual de proceso	Fisicoquímico	27.4	27.4	Cumplir con la norma, descarga al alcantarillado público

Fuente: Aguahh (2005); Agua de Hermosillo (2005).

Después de 2005 se construyeron otras plantas medianas y pequeñas con las que la cobertura del saneamiento se aumentó a casi 12% del caudal de aguas residuales de la ciudad.

Tabla 5.5. Plantas de Tratamiento construidas entre 2005 y 2012

Nombre de PTAR	Inversión	Procesos de tratamiento	Capacidad de diseño (lps)	Uso
Fracc. Versalles	Privada	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	0.5	Riego de áreas verdes
San Pedro	Municipal	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	17	Riego de áreas verdes, camellones y calles, así como descarga a cuerpos receptores
Universidad de Sonora	Municipal-Universidad	Lodos activados	12	Riego de áreas verdes y campos deportivos
Fracc. Valle Verde	Privada	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	30	Riego de árboles, terracerías, laguna, usos productivos
Norson-Rastro TIIF	Municipal-Privada	n.d.	n.d.	n.d.

Nombre de PTAR	Inversión	Procesos de tratamiento	Capacidad de diseño (lps)	Uso
Instituto Tecnológico de Monterrey	Privada	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	1	Riego de áreas verdes y campos deportivos
Universidad del Valle de México	Privada	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	9.45	Riego de áreas verdes y campos deportivos
Bodega Aurrerá Norte	Privada	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	0.5	Riego de áreas verdes y árboles
Bodega Aurrerá Sur	Privada	Lodos activados en la modalidad de aireación extendida	0.5	Riego de áreas verdes y árboles
Puerta de Hierro	Privada	n.d.	n.d.	Riego de áreas verdes y árboles
Los Arroyos	Municipal	Lodos activados	113	Riego de áreas verdes y calles
La Saucedá	Municipal	Lodos activados	50	Riego de áreas verdes y árboles

Fuente: Aguahh (2005); Agua de Hermosillo (2005); COCEF (2011); Conagua, (2019).

La planta que finalmente se construyó en el campus de la Universidad de Sonora, cerca de la avenida Reforma entre un campo de beisbol y la alberca, fue un proyecto conjunto entre Agua de Hermosillo y dicha institución educativa con el propósito de que la Conagua le condonara una multa a Agua de Hermosillo por no contar con el nivel de saneamiento requerido. Agua de Hermosillo iba a ser sancionada por una cuantiosa suma debido a las descargas de aguas residuales crudas que hacía en bienes nacionales (en este caso el lecho del río Sonora), pero se adhirió a un decreto publicado en el DOF el 24 de diciembre de 2007, según el cual la multa se condonaba si se presentaba un programa de acciones para mejorar el saneamiento. Por lo tanto, Agua de Hermosillo propuso construir la referida planta de tratamiento (Lozano, 2014). Sin embargo, no se ha puesto en operación y ha constituido una inversión muerta; es otra PTAR más que se instala pero no opera.

La planta de La Saucedá se edificó durante la administración del alcalde Javier Gándara, siendo Leovigildo Reyes Flores director de Agua de Hermosillo. Fue inaugurada el 28 de noviembre de 2011 y en ella se invirtieron 34 975 836 pesos, de los cuales la mitad la aportó la federación y la otra mitad Gobierno del Estado. Esta planta cumple con la NOM003-Semarnat 1997 y tiene una capacidad instalada para tratar 50 litros por segundo. Cuenta con un tanque elevado con capacidad de 400 metros cúbicos; sus aguas tratadas estaban destinadas para el riego de 8.65 hectáreas del Parque Madero, 2.96 hectáreas del Parque Infantil, 8.08 hectáreas de la Universidad Kino, 3.21 hectáreas del Parque Bicentenario, 10.39 hectáreas de campos deportivos y 22.08 hectáreas del Parque La Saucedá. En total son 55.37 hectáreas de riegos de áreas verdes (Montoya, 2011). Esta planta dejó de operar en 2019 debido a que no se estaban aprovechando sus aguas tratadas y se estaban vertiendo al drenaje de la ciudad, lo cual la hacía irrelevante.

En resumen, en 2005 la capacidad instalada de las 14 plantas medianas y pequeñas era de 240 lps, de la cual solo se aprovechaba 65%, es decir, únicamente trataban 155 lps. Esto significaba que la cobertura del servicio de saneamiento en la ciudad de Hermosillo era de 8.5% del volumen promedio anual de 1 830 lps de aguas residuales de la localidad en esos años. Con las plantas medianas y pequeñas que se construyeron en los siguientes años se alcanzó el 12% de cobertura en el tratamiento de las aguas residuales; sin embargo, con ese porcentaje de tratamiento Hermosillo no estaba cumpliendo con la obligación legal de sanear sus aguas residuales. Las pequeñas plantas existentes eran un alivio, pero no la solución completa del saneamiento urbano. Así, Hermosillo era entonces la única capital estatal de México que no tenía resuelto ese problema.

5.3. Tercer intento: la PTAR Hermosillo

Después de la oposición y cancelación del proyecto de una PTAR en el campus de la Universidad de Sonora, así como en vista de las limitaciones y el corto alcance de las plantas pequeñas financiadas por organizaciones e instituciones privadas, se retomó otra vez el intento de la gestión integral de saneamiento para la ciudad.

Este apartado expone los avatares del proceso de estudios previos, certificación, licitación, contrato, construcción, operación y auditoría de la PTAR Hermosillo de 2005 a 2020. Este nuevo intento significó un accidentado proceso, primero, de un diseño de plantas por sectores con un enfoque especial en el parque industrial en 2005 y 2006; y luego, la planeación, diseño, licitación y construcción de la gran planta única que duró desde 2007 hasta 2014, cuando inició operaciones. Es decir, el trámite de la gran PTAR se prolongó durante tres periodos de gobierno municipal y otro número igual de alcaldes y de directores de Agua de Hermosillo. Cada una de estas etapas constituye una sección del presente capítulo.

5.3.1. El Plan Integral de Saneamiento de la COCEF de 2005

A partir de la municipalización del organismo de Agua de Hermosillo y la creación de la empresa paramunicipal Agua de Hermosillo, en febrero de 2002, se iniciaron otros intentos y proyectos para cumplir con la obligación legal de limpiar y tratar las aguas residuales de la ciudad. Fue así como el organismo entró en negociaciones con la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), a fin de encontrar alternativas viables. La COCEF era un órgano binacional creado por los gobiernos de México y Estados Unidos de América dentro del marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), firmado en 1994. Su función principal era atender los impactos ambientales del desarrollo industrial de la frontera, por medio de la creación y certificación de proyectos de infraestructura ambiental, enfocados principalmente al saneamiento de las aguas residuales. Su jurisdicción se había ampliado recientemente para abarcar una franja de 300 kilómetros del lado mexicano, dentro de la cual quedó comprendida la ciudad de Hermosillo. Este organismo certificaba los proyectos y brindaba apoyo técnico para acceder a los créditos del Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) (véase Anexo).

Desde fines de 2004 y durante 2005, la COCEF realizó estudios e impartió talleres con los técnicos de Agua de Hermosillo, que tuvieron como resultado lo que llamaron inicialmente *Plan Maestro de Saneamiento de Hermosillo* y posteriormente *Plan Integral de Saneamiento de Hermosillo*. A continuación se presenta un resumen de dicho plan.

En 2005, Hermosillo tenía una población de 619 132 habitantes. Se estimaba entonces que la producción de aguas residuales de la ciudad variaba estacionalmente entre 1442 y 2 262 lps, lo que equivalía a un promedio anual de 1 830 lps provenientes de tomas de agua potable que eran 85% domésticas, 11% comerciales y 4% industriales (Agua de Hermosillo, 2005). El volumen de litros por segundo era igual a 57 710 880 metros cúbicos anuales.

El agua residual de Hermosillo se descargaba en canales de riego ubicados al poniente de la ciudad e irrigaba a aproximadamente 6 000 hectáreas, en las que se sembraba principalmente forraje y se criaba ganado para producción de leche y queso. Este reúso agrícola se venía haciendo cuando menos desde los años 80, lo que significaba dos generaciones de trabajadores agrícolas en contacto con las aguas negras. La siembra de forrajes y otros cultivos con aguas residuales representaba cadenas productivas que terminaban en el mercado local. Se pensó que este recicle estuvo relacionado con más de 151 mil casos anuales de amibiasis, salmonelosis y otras infecciones intestinales, de las cuales 30% se atribuyó a problemas vinculados con el agua contaminada (Agua de Hermosillo, 2005; COCEF, 2005).

Tabla 5.6. Infecciones gastrointestinales relacionadas con agua contaminada en Hermosillo

Enfermedad	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Amibiasis intestinal	15 361	15 827	15 031	13 235	11 588	11 930	17 752
Paratifoideas y otras salmonelosis	3 336	3 337	3 321	3 256	1 682	985	1 777
Otras infecciones intestinales	115 286	132 051	117 291	119 341	126 173	154 907	173 323

Fuente: COCEF (2005).

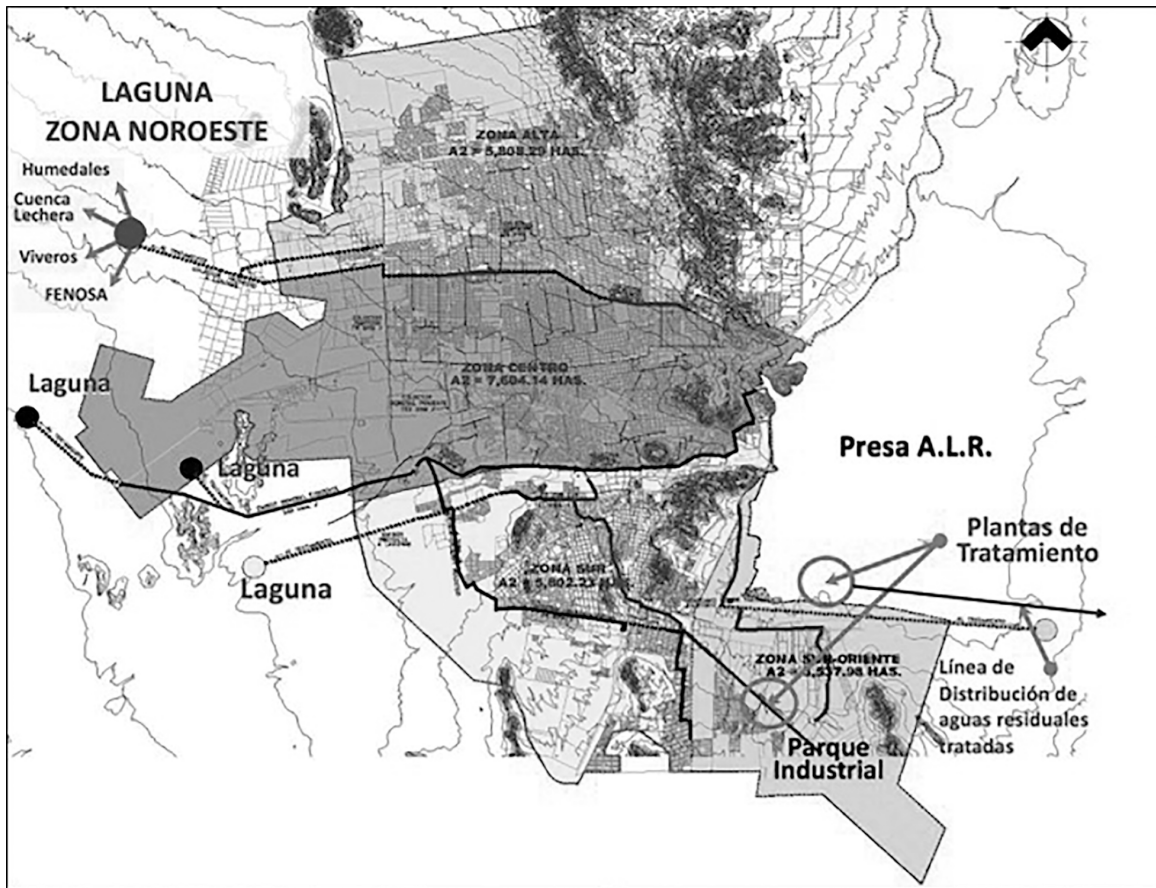
El objetivo del Plan, de acuerdo con la COCEF, era mejorar la red de alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Hermosillo, consistente en redes de colectores, emisores, entubamiento de canales, sistemas de bombeo y la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (COCEF, 2005). La estrategia consistía en analizar las alternativas con base en una matriz de priorización que aprovechara la infraestructura existente y atendiera dos premisas centrales: cumplir con la entrega de agua tratada a los ejidos para utilizarla en los cultivos, así como cubrir el rezago de infraestructura urbana en materia de saneamiento y la demanda futura de Hermosillo (COCEF, 2005). Para ello se planeaba sectorizar la ciudad en tres zonas con sistemas de tratamiento independientes para optimizar el alcantarillado y facilitar el reúso del agua tratada. Las zonas eran la Noroeste, la Centro-Sur y la Sureste.

En la Noroeste se proyectaba construir tres obras principales: una era el colector interceptor Divisaderos, con una longitud de 9.6 km y un diámetro de tuberías de 18 a 30 pulgadas; otra era el Emisor Noroeste, con una longitud de 4.7 km y un diámetro de tuberías de 36 pulgadas; y un Sistema Lagunar Noroeste de tratamiento secundario, con capacidad para 260 lps. Con lo anterior se calculaba que esta PTAR iniciaría operaciones con 45 lps.

En la zona Centro-Sur el alcance de las obras incluía una estructura de desvío del colector central al emisor general, que implicaba tres plantas y un cárcamo: la de La Yesca, con un sistema lagunar con capacidad para tratar 450 lps en una superficie de 150 ha; la de La Manga-Los Bagotes, con un sistema lagunar con capacidad para tratar 850 l.p.s. en una superficie de 150 ha; una planta en Villa de Seris, con un sistema lagunar para tratar 850 lps en una superficie de 246 ha; y la construcción del cárcamo de bombeo de 230 m³ hacia el sistema lagunar La Manga-Los Bagotes.

En la zona Sureste el alcance de obras contemplaba la construcción de dos PTAR: las plantas Sureste 1 y 2, ambas con nivel de tratamiento terciario, a fin de apoyar el riego agrícola, el de áreas verdes con contacto humano directo y un potencial uso industrial, así como la construcción de tanques reguladores y líneas de conducción de las aguas tratadas. La planta Sureste 1 tendría una capacidad de 30 l.p.s., con sistema de lodos activados y aireación extendida que colectaría las aguas residuales de 10 000 habitantes, para generar 17 lps, cifras que en 2014 aumentarían a una población de 12 612 personas, generando 22 lps. La planta Sureste 2 tendría una capacidad de 45 l.p.s. en dos etapas: la primera de 30 lps y la segunda de 15 lps, para recolectar las aguas residuales del parque industrial Dynatech, que generaba 29 lps y en cinco años se agregarían otros 15 lps. Además, se pensaba instalar un cárcamo de bombeo para aguas negras y otro para tratadas, así como una línea de conducción y distribución paralela a la carretera a Sahuaripa, hacia el poniente (Agua de Hermosillo, 2005).

Figura 5.2. Zonas de tratamiento de aguas residuales según Plan de 2005



Fuente: Agua de Hermosillo (2005).

El costo estimado de esta propuesta variaba según las dos estimaciones que se hicieron, una era de 730 millones de pesos y la otra de 771 millones de pesos. Ambas eran muy similares, aunque tenían diferencias en cuanto a la superficie de los sistemas lagunares, dependiendo de los trenes de tratamiento propuestos, de la consideración o no de geomembranas y de otros aspectos que impactaban en los costos (COCEF, 2005).

El Plan tenía un horizonte de 20 años y se diseñó con base en la proyección de crecimiento de Hermosillo para el año 2025, cuando se pensaba que la ciudad tendría aproximadamente 925 500 habitantes. El escenario 2025 preveía reducir la dotación de agua por persona de 319 a 243 litros por día, es decir, una disminución de 24% en el patrón de consumo. Con esta medida se vislumbraba también mermar las aguas residuales al rango de 1 845-2 212 lps, lo que significaba su producción en un volumen anual de 63 millones 986 544 metros cúbicos.

En resumen, el Plan de la COCEF proponía lagunas de oxidación para dos sectores o cuencas de drenaje al poniente de la ciudad y plantas medianas de tratamiento para el parque industrial en el sureste. La idea era alcanzar un esquema intermedio entre la gran descentralización, que significaba contar con muchas pequeñas plantas, y la gran centralización que representaba tener una gran planta para toda la ciudad. Dicho esquema intermedio seguía teniendo la ventaja de que las plantas ubicadas en el parque industrial en el sureste de la localidad producirían agua tratada que podía ser reusada en los procesos industriales y áreas verdes ubicados a corta distancia de ahí.

Hay que concluir este apartado mencionando que a pesar de los estudios y los avances realizados, este Plan de saneamiento no se llegó a concretar. El cambio de gobierno municipal en 2006, que consistió también en cambio de partido político, representó modificar los planes y adoptar una nueva estrategia retomando el proyecto de construir una gran planta.

5.3.2. Estudios preliminares en el trienio 2006-2009

En septiembre de 2006 hubo una transición de gobierno y de partido político en el municipio de Hermosillo. Terminó el trienio de María Dolores del Río como presidenta municipal proveniente del PAN e inició el de Ernesto Gándara Camou, militante del PRI, lo que implicó sustituciones en la dirección del organismo Agua de Hermosillo, cuya dirección tuvo que dejar Enrique Martínez Preciado y dar paso a José Luis Jardines.

En agosto de 2007 se declaró que ya estaba listo el estudio de evaluación social y se anunció un nuevo proyecto de una sola gran planta de tratamiento al poniente de la ciudad de Hermosillo, financiada por Banobras. El Presidente municipal expresó que estaban gestionando el terreno y que analizaban si se convocaría a una licitación únicamente para inversión privada o si se llevaría a cabo parcialmente con recursos del FINFRA (Fondo de Inversión en Infraestructura) de Banobras (Valenzuela, 2007). Inicialmente se decidió que el nuevo proyecto de PTAR se ubicaría en el kilómetro 7.5 de la carretera a Bahía Kino, con un área de influencia de 1009.5 hectáreas, de las cuales cerca de 80% pertenecía al gobierno federal (Bracamonte, 2008).

El proyecto contemplaba la construcción de una sola planta de tratamiento y dos vasos reguladores. La PTAR se levantaría en un espacio de 6.7 hectáreas y en una primera etapa tendría una capacidad instalada para tratar 2000 lps, que en 2015 se ampliaría a 2 300 lps. Asimismo, estaría diseñada para cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997, con el sistema de tratamiento de lodos activados. Por otra parte, los vasos 1 y 2 eran reservorios del agua tratada que se ubicarían en los dos cerros cercanos a la PTAR y contarían con bordos de contención, obras de toma y vertedores que soportarían la red de distribución del sistema. La

capacidad de diseño conjunto sería de 9 millones de m³ de agua, destinada para riego agrícola y recarga del acuífero (Bracamonte, 2008).

La planta se conectaría con el emisor General al que confluían el colector Panteón, que recibía aportaciones del norte de la ciudad, los colectores General y Principal, y el Libertad Minutas, que brindaba servicio al sur-poniente de la ciudad. Estos colectores desalojaban las aguas residuales sin ningún tratamiento a cielo abierto sobre las zonas de riego ubicadas al suroeste de Hermosillo. Además, había varios canales que colindaban en esta área: el canal Villa de Seris, que rodeaba la parte noroeste de las parcelas de riego y se conectaba hacia el norte con el canal Álamo y con el canal Jagüey, que cruzaba la zona del polígono federal hasta el emisor general (Bracamonte, 2008).

El proyecto preveía el aprovechamiento y distribución de las aguas tratadas. La mayor parte del efluente se canalizaría al uso agrícola y a la restante, según evolucionara la demanda, se le darían fines urbanos e industriales. En lo que respecta al uso agrícola, ya existía un acuerdo para el abastecimiento anual de agua a tres ejidos: La Yesca, con una demanda de 2.126 Mm³; La Manga, con 2.734 Mm³, y Villa de Seris, con 8.603 Mm³. Además de estos, había otros ejidos y pequeños propietarios que necesitaban 5.837 Mm³ de agua, dando una demanda total de 19.300 Mm³ anuales. Por lo que se refiere al uso industrial, ya había también una solicitud de agua residual cruda por un volumen de 110 lps, equivalente a 3 468 960 m³ al año. Con la construcción de la PTAR se seguiría suministrando este volumen, pero ahora con agua tratada. Respecto del uso urbano, no se tenían estimaciones sobre la demanda de aguas residuales tratadas, pero se esperaba que se incrementara conforme continuara el crecimiento de la ciudad; además, se contemplaba que otra posible forma de reutilizar el líquido tratado podía ser la recarga de acuíferos mediante la infiltración de agua en el subsuelo. Había la posibilidad de infiltrar 400 lps, equivalentes a 12 614 400 m³ al año (Bracamonte, 2008).

En agosto de 2008, cuando ya quedaba solo un año de la administración municipal, el alcalde Ernesto Gándara manifestó preocupación por el financiamiento de la obra y declaró que se estudiaba elevar la tarifa de agua, de modo que se pudiera cubrir la inversión y darle viabilidad a la operación de la PTAR. A su vez, el director de Agua de Hermosillo dijo que serían los usuarios quienes pagarían la planta tratadora por medio del cargo adicional que se le haría a la tarifa. El costo estimado de la obra entonces era de 630 millones de pesos que se pagarían con el financiamiento privado bajo la modalidad conocida como “construir, operar y transferir” o BOT (*Build, Operate, Transfer*) (Contreras, 6 de agosto de 2008). Se pretendía publicar la convocatoria de licitación a fines de ese año para que la obra comenzara a operar a finales de 2010 (Contreras, 7 de agosto de 2008). En noviembre de 2008, el Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales federal, en una visita en Hermosillo, aseguró que el problema del agua en Sonora era prioridad para el gobierno de la República y que la planta tratadora de aguas residuales era un proyecto validado (Ortega, 2008). Sin embargo, la licitación no se difundió oportunamente, el inicio de la construcción se retrasó y concluyó el trienio, por lo que el proyecto quedó como pendiente para la siguiente administración municipal.

5.3.3. Licitación de la PTAR en 2010

En septiembre de 2009 inició una nueva administración municipal y estatal. En el municipio el nuevo alcalde era Javier Gándara Magaña y el gobernador entrante era Guillermo Padrés Elías, ambos del PAN, mientras que los anteriores provenían del PRI. No obstante, en el organismo Agua de Hermosillo el Alcalde ratificó al anterior

director, por lo que el Ing. José Luis Jardines continuó al frente del organismo, al menos por un año más. Así, parecía que la diferencia de partido en los gobiernos no era obstáculo para que continuaran con el proyecto de saneamiento que había dejado la anterior administración.

El 25 de marzo de 2010, Agua de Hermosillo convocó a una licitación pública nacional para adjudicar el contrato de tratamiento de aguas residuales de la ciudad. Al hacerlo, el director general de Agua de Hermosillo era José Luis Jardines, pero este dejó el cargo el 30 de junio del mismo año y en su lugar se nombró al Ing. Leovigildo Reyes Flores, por lo que fue él quien continuó con la conducción del proceso de licitación.

Para agosto de 2010 se anunció que había siete empresas interesadas en construir la PTAR y que presentaron sus propuestas: Atlatec, de capital japonés y mexicano; Aqualia, de coinversión mexicana y franco-española; Promotora del Desarrollo de América Latina, de capital español-mexicano; Grupo Mexicano de Desarrollo SAP, de capital mexicano; Cobra Instalaciones México, de capital español-mexicano; Ingeniería de Sistemas Sanitarios y Ambientales, de capital mexicano, y Servicios Integrales de Ingeniería y Administración de Obras, de capital mexicano. En la vigilancia de la licitación participaron activamente Conagua, Banobras y Agua de Hermosillo, así como diversos órganos de control y testigos públicos designados por la Secretaría de la Función Pública (SFP) (s. a., 21 de agosto de 2010).

El 4 de octubre de 2010 se dio a conocer el fallo del proceso, adjudicándose el contrato al consorcio liderado por la empresa Cobra Instalaciones México. Sin embargo, el 11 y 12 de octubre esta decisión fue impugnada ante la SFP por los consorcios de Dinámica Desarrollos Sustentables (socia de una de las concursantes) y Atlatec, por lo que la contratación se atrasó. El 13 de mayo de 2011, la SFP solicitó cancelar el contrato y emitir un segundo fallo. El 30 de junio siguiente se emitió dicho segundo fallo adjudicando el contrato a Dinámica Desarrollos Sustentables, pero nuevamente fue impugnado. Atlatec presentó inconformidad por el resultado ante la SFP. El 12 de enero de 2012, esta entidad resolvió cancelar el segundo fallo y pidió emitir un tercero. El 31 de enero, Agua de Hermosillo declaró desierta la licitación. Por tercera ocasión, el 14 de marzo, Atlatec se inconformó y presentó una demanda de amparo ante un juzgado del Poder Judicial de la Federación con sede en Hermosillo, solicitando la suspensión del tercer fallo y la suspensión provisional para que el proceso de licitación se mantuviera en el estado en que se encontraba. Dos días después, el juzgado impugnó la demanda de amparo promovida.

Ante múltiples cancelaciones de fallo, la ley prevé que después de tres intentos fallidos la contratación para construir y operar una PTAR se puede hacer por adjudicación directa. De este modo, el 2 de abril de 2012, Agua de Hermosillo expidió un dictamen asignando el contrato a la empresa Fypasa y el 11 de abril firmó el contrato de prestación de servicios con el número de registro AGH-DIGO-FED-ADQ-0412-21 con la empresa TIAR Hermosillo (filial de Fypasa), por un importe de construcción de \$876 006 893 pesos más IVA, a precios de junio de 2010 (Agua de Hermosillo, 2015).

El 18 de agosto de 2012, a menos de un mes de que concluyera el trienio del alcalde Javier Gándara Magaña, se protocolizó el inicio de la construcción de la obra, a fin de que quedara *amarrado* el proceso. Al acto asistió la directora general de Banobras, Georgina Kessel Martínez.

Tabla 5.7. Cronología de la licitación de la PTAR Hermosillo

25-mar-10	AGUAH publica licitación pública nacional para adjudicar contrato de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Hermosillo.
4-oct-10	Fallo de licitación que adjudica el contrato al consorcio liderado por la empresa Cobra Instalaciones México.
11-12-oct-10	Consortios de Dinámica Desarrollos Sustentables y Atlatec presentan inconformidades ante la SFP.
13-may-11	La SFP solicita cancelar el contrato y emitir un segundo fallo.
30-jun-11	Se cancela el contrato y se emite el segundo fallo que asignó el contrato al consorcio liderado por la empresa Dinámica Desarrollos Sustentables.
11-jun-11	El consorcio de Atlatec presenta ante la SFP inconformidad al segundo fallo.
12-ene-12	La SFP emite resolutivo solicitando cancelar el segundo contrato y emitir un tercer fallo.
31-ene-12	Se cancela el segundo contrato, se emite un tercer fallo declarando desierta la licitación pública.
14-mar-12	El consorcio liderado por Atlatec presenta demanda de amparo ante juzgado del Poder Judicial de la Federación con sede en Hermosillo, Sonora, solicitando suspender el tercer fallo y una suspensión provisional para mantener la situación en el estado en que se encontraba.
16-mar-12	Un juzgado del Poder Judicial de la Federación con sede en Hermosillo impugna la demanda de amparo promovida por Atlatec.
2-abr-12	Se emite dictamen de adjudicación directa a la empresa Fypasa.
11-abr-12	Se celebra mediante adjudicación directa el contrato de prestación de servicios del sector público No. AGH-DIGO-FED-ADQ-0412-21 con la empresa TIAR Hermosillo, por un importe de construcción de \$876 006 893 más IVA a precios de junio de 2010.
18-ago-12	Se protocoliza el inicio simbólico de los trabajos de construcción de la PTAR Hermosillo, iniciando con elaboración del Proyecto Ejecutivo.
13-mar-13	Se inicia la construcción de la PTAR Hermosillo y se redacta el “Acta de entrada en vigor del contrato”.

Fuente: Agua de Hermosillo (2015).

5.3.4. Certificación de la COCEF en 2011

El 8 de marzo de 2011 la COCEF publicó un documento certificando el proyecto, lo que le permitía, además, ser sujeto de crédito del Banco de Desarrollo de América del Norte. El documento con folio BD 2011-8 ubicó a la obra en la categoría de “Proyecto de Infraestructura Ambiental para la comunidad-Impacto Comunitario”, dentro de la franja fronteriza de 300 kilómetros y en concordancia con los términos del Tratado de Libre Comercio de 1994 y el Acuerdo Ambiental Fronterizo de la Paz de 1983 (COCEF, 2011). La referida certificación incluyó la siguiente descripción:

Diseño, construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Hermosillo, Sonora, con capacidad de 2 500 l.p.s., con lo que se alcanzará una cobertura del 100% en el servicio. Adicionalmente, el proyecto considera la ampliación del Emisor General con 2.3 kilómetros de longitud y 2.44 metros de diámetro, para conducir el agua residual hasta la planta de tratamiento, así como una estación de bombeo de agua tratada, para la distribución de la misma hacia los distintos sitios de reúso (uso agrícola, recarga de acuífero y uso urbano) (COCEF, 2011, p. 3).

El documento de certificación incorporaba también una justificación y elementos que avalaban la factibilidad técnica, ambiental y de salud humana, la viabilidad financiera, la participación comunitaria y el desarrollo sustentable (COCEF, 2011). En los siguientes apartados resumimos cada una de estas partes.

La *justificación* del proyecto se basó en que hasta entonces se habían estado descargando 2 000 lps de agua residual sin tratar en arroyos localizados al poniente de la ciudad, que eventualmente derivan al cauce del río Sonora, contaminándolo y generando un foco de infección para la población. El proyecto reducía la potencial contaminación del agua subterránea al mejorar la calidad de las descargas de agua residual y proveía agua tratada para riego agrícola y otros usos, disminuyendo la posible demanda de los recursos de agua potable. Asimismo, el proyecto se justificaba porque contribuía a evitar enfermedades de origen hídrico por la exposición a agua residual sin tratar que ponía en riesgo la salud de los habitantes del área e incrementaba la probabilidad de adquirir enfermedades asociadas a la misma. La certificación constató que el proyecto se encontraba dentro de los sectores prioritarios de la COCEF y que cumplía con el criterio general básico.

Impactos en la salud y el medio ambiente. La COCEF señaló que las estadísticas de salud mostraban que en Hermosillo había una cantidad anual importante de enfermedades hídricas, pues se registraron numerosos casos de padecimientos intestinales, helmintiasis y amibiasis; se esperaba que la implementación del proyecto contribuyera a reducir esa cifra. En cuanto a la situación del medio ambiente, las descargas de agua residual habían sido una fuente potencial de organismos vectores de enfermedades, así como de contaminación de suelos y aguas subterráneas y superficiales. Las condiciones ambientales atendidas por el proyecto fueron: 207 137 conexiones de drenaje que producían 2 000 lps de agua residual descargada sin tratamiento y una carga orgánica (DBO₅) total estimada en 48.75 toneladas por día y sólidos suspendidos totales (SST) calculados en 45.89 toneladas diarias. La COCEF consideró que el proyecto cumplía con el criterio de salud humana y medio ambiente.

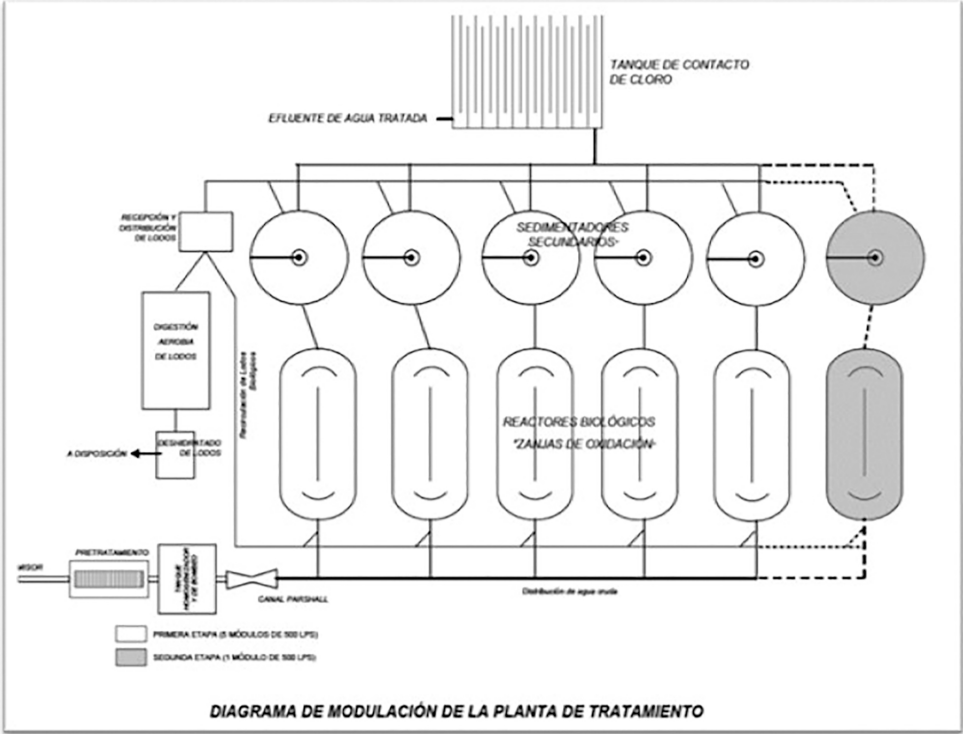
Factibilidad técnica. La COCEF estimó que los estudios básicos y planes de obras complementarias al proyecto se realizaron con base en las especificaciones técnicas del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Subdirección General Técnica de la Conagua. La PTAR Hermosillo no contó con un proyecto ejecutivo, su construcción se llevaría a cabo mediante un contrato “BOT” en el que la empresa seleccionada incluiría la prestación de los siguientes servicios: verificación de los datos básicos de diseño, proyecto ejecutivo, construcción, equipamiento electromecánico, pruebas de funcionamiento, pruebas de capacidad, operación, conservación y mantenimiento, remoción, tratamiento y disposición final de los biosólidos y sólidos.

Además, el tratamiento de las aguas residuales debía contener al menos una unidad de desbaste grueso, una unidad de desbaste fino, desarenado y desengrasado, cárcamo de bombeo de agua sin tratar, sedimentación primaria, tratamiento secundario (biológico), sedimentación secundaria, unidad de desinfección y estación de bombeo de agua tratada. Por otra parte, el manejo de lodos subproducto del tratamiento tendría los siguientes componentes: sistema de extracción y almacenamiento de lodos, tratamiento biológico, deshidratado, espesamiento y disposición final de lodos.

La tecnología empleada para el tratamiento consistía en aireación extendida (zanjas de oxidación), cumpliendo con los lineamientos solicitados y enunciados en este mismo apartado, así como con la calidad de agua tratada y lodos requerida, que corresponden a las normas NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-004-SEMARNAT-2002, respectivamente.

La mencionada certificación constataba que Agua de Hermosillo contaba con la capacidad institucional, humana y financiera básica para supervisar y realizar los pagos por la operación y el mantenimiento del sistema de tratamiento que se proponía durante el periodo de concesión, y posteriormente llevar a cabo la operación y mantenimiento de las instalaciones al finalizar la concesión. Además, Agua de Hermosillo contaba con la validación técnica y financiera por parte de Conagua y BANOBRAS, y el resolutivo de impacto ambiental de SEMARNAT, así como con las agencias revisoras Conagua, BANOBRAS, SEMARNAT, Agua de Hermosillo, COCEF y BDAN. En resumen, la COCEF avaló que el proyecto cumplía con la factibilidad técnica (COCEF, 2011).

Figura 5.3. Diseño general de la PTAR Hermosillo



Fuente: COCEF (2011, p. 12).

Factibilidad financiera. El mecanismo de pago propuesto para el proyecto, garantizado con una línea de crédito contingente y revolvente, era sólido y de bajo riesgo, lo que lo hizo financieramente factible. El costo estimado fue de \$1,045 millones de pesos y se basó en el monto definido en el contrato BOT como “Costo del Proyecto”, equivalente a \$761.9 millones de pesos a precios de agosto de 2010, actualizado por el estimado de inflación durante el plazo de construcción.

Tabla 5.8. Estructura financiera del proyecto

Usos	Monto (millones de pesos)	%
Costo de construcción del proyecto	\$869.5	83
Capitalización de intereses	\$143.4	14
Otros costos	\$32.1	3
Total	\$1,045.0	100

Fuente: COCEF (2011).

Las fuentes de financiamiento de los \$1,045 millones del proyecto fueron las siguientes: el Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) aportó un crédito por la cantidad de \$580 millones de pesos, que corresponden al 56% del monto estimado; el gobierno federal contribuyó, por medio del FONADIN, con un subsidio de \$233.8 millones de pesos a fondo perdido, que corresponde al 22% de la obra; y los restantes \$231.2 millones los aportó el contratista. Conforme al proceso de licitación, se requería que el contratista financiara cuando menos el 25% del costo de la construcción o \$190.5 millones de pesos (el 25% de los \$761.9 millones a precios de agosto de 2010 anteriormente citados). Los \$231.2 millones de pesos que aportó el contratista cubrían esta cantidad, así como recursos adicionales para solventar costos indirectos. De esta forma, la contribución del contratista representó el 26.7% del monto del proyecto (COCEF, 2011).

Los medios de pago fueron los ingresos de Agua de Hermosillo, garantizados por medio de una línea de crédito contingente y revolvente del municipio de Hermosillo. Para la administración de la PTAR, el concesionario crearía una sociedad de propósito específico que financiaría, construiría y operaría la planta. Se consideró asimismo que no había actividades pendientes y que el proyecto cumplía con los criterios de factibilidad financiera (COCEF, 2011).

Participación comunitaria. La obra contaba con un comité de seguimiento, que era el Consejo Consultivo Municipal del organismo operador municipal Agua de Hermosillo, que le dio seguimiento y que validó las actividades de participación pública y acceso a la información. Por lo tanto, se cumplió con el criterio de participación comunitaria estipulado por la COCEF (COCEF, 2011).

Desarrollo sustentable. El concesionario sería la entidad responsable de operar y dar mantenimiento al sistema de tratamiento de aguas residuales hasta que la PTAR fuese transferida al organismo operador (Agua de Hermosillo), cuando concluyera la concesión. El promotor Agua de Hermosillo tenía la capacidad institucional, humana y financiera básica para supervisar y efectuar los pagos por la operación y el mantenimiento del sistema de tratamiento que se proponía, y de operar y mantener las instalaciones cuando la concesión terminara.

El proyecto permitiría disminuir el deterioro ambiental al eliminar la contaminación por descargas de aguas residuales generadas en la ciudad de Hermosillo, además de fomentar su reúso tanto en actividades productivas como de recuperación de acuíferos y crear áreas verdes, con lo que no solo se reducirían los riesgos de contaminación de acuíferos y los riesgos a la salud humana, sino que mejoraría el ambiente en general. Así, se cumplía con el criterio de desarrollo sustentable de la COCEF (COCEF, 2011).

5.3.5. Contrato de construcción y operación en 2012

De acuerdo con lo que señala la cláusula segunda del contrato de prestación de servicios del sector público No. AGH-DIGO-FED-ADQ-0412-21, firmado el 11 de abril de 2012 entre Agua de Hermosillo y la empresa TIAR Hermosillo S.A.P.I. de C.V., tuvo por objeto:

La prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Hermosillo, Sonora, en planta con capacidad inicial de 2 500 l.p.s. que incluye, proyecto ejecutivo, construcción, equipamiento electromecánico, pruebas de funcionamiento, pruebas de capacidad, operación, conservación, mantenimiento; así como la remoción y disposición final de los biosólidos y sólidos que en su caso se generen, bajo la modalidad de precio alzado con inversión mixta, privada, parcial y recuperable (Agua de Hermosillo, 2012, p. 9).

Siguiendo el formato legal acostumbrado, el contrato contenía una sección de antecedentes, otra de declaraciones, así como las cláusulas del contrato y una serie de 18 anexos. En este apartado se describen solo algunas partes selectas de dicho documento.

En los antecedentes se hizo referencia al proceso de licitación descrito en el apartado anterior. En las declaraciones se mencionaron la identificación y la constitución legal de las partes contratantes: Agua de Hermosillo como un organismo público descentralizado de la administración pública municipal, creado el 24 de enero de 2002, representado por su entonces director general, el Ing. Leovigildo Reyes Flores. Por su parte, TIAR Hermosillo era una sociedad mercantil legalmente constituida con escritura pública número 32905 del volumen 508, otorgada ante la fe del Lic. Próspero Soto W., notario público número 5 de la ciudad de Hermosillo, Sonora, el 10 de abril de 2012. Junto con TIAR Hermosillo participaron también Fypasa Construcciones, S.A. de C.V., constituida en la Ciudad de México el 31 de agosto de 1983, y Gech Ingeniería y Servicios S.A. de C.V., constituida en la Ciudad de México el 16 de octubre de 2001.

En el apartado de las cláusulas, el contrato incluía 56, de las cuales la II establece que la empresa se obligaba a elaborar el proyecto ejecutivo de la PTAR Hermosillo incluyendo el emisor de aguas negras y el cárcamo de aguas tratadas, a realizar la construcción, equipamiento, pruebas y puesta en operación de la planta, así como a llevar a cabo su operación, conservación, reposición de equipo y mantenimiento, y la remoción y disposición final de biosólidos y sólidos que se produjeran por la puesta en marcha de la PTAR, durante un periodo de 234 meses a partir de que entrara en funciones. Lo anterior significó que el lapso de operación de la planta por la empresa concesionaria es por 19 años y seis meses. Ahí mismo se asentó que la PTAR Hermosillo debía cumplir con la calidad estipulada en el anexo 9 del contrato.

En la cláusula XV, sobre la calidad del agua y monitoreo, se dice nuevamente que el agua tratada debe ajustarse a las normas y lineamientos técnicos especificados en el anexo 9. La colecta de muestras de agua y de lodos, así como su análisis, tiene que ser efectuado por un laboratorio externo acreditado. En caso de existir alguna disputa sobre las evaluaciones realizadas respecto de los resultados de la cantidad y de los análisis de la calidad del agua tratada, se solicita la evaluación de un laboratorio certificado por la Conagua, el cual debe seleccionarse de común acuerdo entre las partes, debiendo cubrir el costo aquella parte a la que le haya sido desfavorable el resultado de dicha evaluación. Asimismo, en la cláusula XVI se menciona que en caso de que el agua del influente no cumpla con la calidad estipulada en el anexo 9 y contenga elementos que perjudiquen el proceso de tratamiento o los equipos de la PTAR, la empresa procederá a ingresar y dar tratamiento a dichos

caudales, sin que lo anterior sea motivo para aplicar las penas convencionales. No se aceptará desviar el agua cuando los sistemas de tratamiento trabajen dentro de los límites del análisis de sensibilidad especificado en el apéndice 4 de la convocatoria a la licitación y la empresa deberá notificar de inmediato a AGUAH la ocurrencia de este evento. En caso de que la PTAR reciba más de 194 000 m³ de aguas residuales en un día de 24 horas, la empresa está obligada a cumplir con los porcentajes de remoción de contaminantes (DBO5 y SST), sin que lo anterior sea motivo para imponer sanciones por incumplimiento.

Para respaldar el pago de la contraprestación total, Agua de Hermosillo se obliga a mantener vigente una línea de crédito durante todo el tiempo que existan obligaciones de pago a su cargo.

La cláusula XXX tiene que ver con la contraprestación total, en ella se estipula que es el pago integrado por la suma de las tarifas T1, T2 y T3 que deberá pagar AGUAH a la empresa por la prestación de los servicios, más el IVA correspondiente, de acuerdo con lo siguiente:

$$CT_n = T1_n + T2_n + T3_n$$

Donde: CT_n = Pago mensual que será efectuado a través del Fideicomiso de Administración, equivalente al monto de facturación mensual sin IVA en pesos mexicanos en el mes n , por la amortización de la inversión para el diseño, construcción, equipamiento y puesta en operación de la PTAR, así como por la operación, conservación y mantenimiento de la PTAR Hermosillo.

$$\text{Donde: } T1_n = T1C_n + T1R_n$$

$T1_n$ = tarifa mensual sin IVA para pagar *los costos de amortización* de la inversión realizada por la empresa en el mes n , *con crédito* ($T1C_n$) y *con capital de riesgo* ($T1R_n$). Tarifa que será pagada durante 234 meses por AGUAH a la empresa a partir de la emisión del acta de inicio de operación de la PTAR Hermosillo. El contrato expone las fórmulas de la $T1C_n$ y la $T1R_n$ que no se incluyen aquí.

$T2_n$ = tarifa mensual sin IVA para pagar *los costos fijos de operación*, conservación y mantenimiento de la PTAR Hermosillo en el mes n .

$T3_n$ = tarifa mensual sin IVA para pagar *los costos variables de operación*, conservación y mantenimiento de la PTAR Hermosillo en el mes n .

La cláusula XXXI detalla la manera como se calcula mensualmente el pago entre AGUAH y la empresa, cómo se expiden las facturas y los recibos, y como estos se hacen a través del Fideicomiso de Administración.

La cláusula XXXVII especifica las obligaciones de la empresa. A continuación se exponen de manera resumida las que tienen que ver de forma más directa con la operación de la planta:

4. Llevar a cabo la operación, conservación, reposición de equipo y mantenimiento de la PTAR Hermosillo, y la remoción y correcta disposición final de sólidos y arenas del pretratamiento y de los biosólidos, de acuerdo con la proposición de la empresa.

11. Reparar o reponer por su cuenta los equipos e instalaciones de la PTAR Hermosillo [...] durante toda la vigencia de este contrato y hasta los 12 (doce) meses siguientes a la fecha de terminación del presente contrato [...] La responsabilidad señalada en este punto será cubierta por la empresa con el otorgamiento de la garantía de terminación del contrato.

13. Brindar capacitación profesional y objetiva al personal designado por AGUAH para la operación y mantenimiento de la PTAR Hermosillo [...] a partir del acta de inicio de operación y actualizarlo anualmente con especial énfasis durante los 12 meses previos a la terminación del contrato.

16. La empresa sería la única responsable de la recolección, acopio, manejo, tratamiento, transporte y disposición final de lodos, sólidos y biosólidos (Agua de Hermosillo, 2012).

La cláusula XLI aborda las penas convencionales por incumplimiento y señala que se detallan en el anexo 8.

La cláusula XLVI trata el asunto de la terminación anticipada y apunta que serán causas las siguientes: 1) Por mutuo acuerdo entre las partes; 2) imposibilidad de cumplir el objeto del contrato, por caso fortuito o fuerza mayor; 3) por razones de interés general; y 4) rescisión del contrato. Después el documento especifica las circunstancias de cada una de las causas.

La cláusula XLVII enumera las causas de rescisión que pueden ser imputables a la empresa o imputables a AGUAH. Entre las imputables a la empresa aparecen los incisos siguientes:

g) el incumplimiento [...] de los parámetros de cantidad de agua tratada establecidos en el presente contrato y sus anexos, durante un plazo de 45 días naturales consecutivos contados a partir de que se tenga conocimiento de las deficiencias, o bien durante un plazo de 90 días naturales discontinuos en un año calendario. h) El incumplimiento [...] de uno o más de los parámetros de calidad del agua tratada establecidos como promedio mensual en el presente contrato y sus anexos, durante un plazo de tres meses calendario consecutivos o discontinuos, contados a partir de aquel en que se tenga conocimiento de las deficiencias en tales parámetros, en un año calendario (Agua de Hermosillo, 2012, p. 55).

En cuanto al procedimiento en caso de rescisión por causas imputables a la empresa, la misma cláusula XLVII asienta que AGUAH le notificará los motivos de incumplimiento en que hubiere incurrido y le concederá un lapso de 30 días naturales para que justifique y realice los actos tendientes a solucionar o subsanar dicho incumplimiento, para que en su caso presente sus defensas y pruebas o alegue lo que a su derecho convenga. AGUAH podrá otorgar a la empresa un plazo adicional a fin de que solucione o subsane su incumplimiento, cuando la empresa demuestre a juicio de AGUAH que lo requiere. Si transcurridos dichos periodos la empresa no ha solucionado o subsanado su incumplimiento o no presenta pruebas o hace manifestación alguna en su defensa, AGUAH emitirá su resolución administrativa debidamente fundada y motivada, declarando si procede o no la rescisión del contrato. El documento del contrato contiene los pormenores del proceso de rescisión.

La cláusula L se refiere a las controversias, ahí se manifiesta que para todo lo relativo a la interpretación, aplicación u observancia del contrato acerca de la operación, mantenimiento y conservación de la infraestructura y prestación del servicio, las partes se sujetan a lo establecido en la LAASSP (Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público) y el RLAASSP (reglamento); al derecho contenido en las leyes, reglamentos y disposiciones administrativas federales. Respecto de lo no previsto en ellas, acuerdan sujetarse a los ordenamientos vigentes en el municipio de Hermosillo. Después el contrato alude a un procedimiento conciliatorio y un procedimiento contencioso.

En la cláusula LII se habla de las discrepancias en la información; se menciona cuáles documentos o datos son los que tienen prevalencia en diferentes tipos de discrepancias. El contrato contiene, además, 18 anexos: 1) Definiciones y abreviaciones; 2) Carta compromiso; 3) Documentos firmados de proposición; 4) Contrato comodato; 5) Garantías del proyecto; 6) Formato de estimación; 7) Ajuste de tarifas; 8) Penas convencionales; 9) Calidad del agua; 10) Dictamen de adjudicación directa; 11) Ubicación de los terrenos; 12) Protocolo de pruebas de funcionamiento; 13) Personalidad jurídica de AGUAH y empresa; 14) Actas para el cumplimiento del contrato; 15.1) Manual de aseguramiento de calidad; 15.2) Manual de operación y mantenimiento; 16) Acuerdo de participación de Banobras; 17) Lista de refacciones para la terminación del contrato; 18) Avance trámite impacto ambiental.

El contrato, firmado el 11 de abril de 2012, concluye con las firmas del Ing. Leovigildo Reyes Flores como director general de Agua de Hermosillo, y de Antonio Juan Rodríguez Almirante como representante legal de la empresa. Asimismo, firman como responsables solidarios el Ing. Francisco José Chozas Rizo, representante legal de Fypasa Construcciones, y Antonio Juan Rodríguez Almirante, por GECH Ingeniería y servicios. Por último, como testigos por parte de AGUAH firman el Ing. Jesús Alberto Dorado Huitrón, encargado del despacho de la Dirección de Ingeniería, el Ing. Juan Romero Loya, gerente de licitaciones y contratos, y el Lic. E. Ramiro Valenzuela López, coordinador de asuntos jurídicos (Agua de Hermosillo, 2012).

Este documento ha sufrido dos modificaciones formales. El primer convenio modificatorio se signó el 22 de abril de 2015 entre el director de AGUAH, David Contreras, y Francisco José Chozas Rizo, representante legal de TIAR Hermosillo, con el objeto –entre otros– de que la empresa se hiciera cargo de construir “una línea de excedencias, la conexión de los colectores existentes para acercar agua cruda para la PTAR y la ampliación de la capacidad del canal de Seris” (Agua de Hermosillo, 2015b, p. 3), así como ampliar de 24 a 30 meses (seis más) el lapso de realización y el de inversión de 30 a 36 meses, además de reducir seis meses el tiempo de operación, de 234 a 228 meses.

El segundo convenio modificatorio se firmó el 2 de diciembre de 2016 –al día siguiente del inicio de operaciones– entre AGUAH y TIAR Hermosillo, en esta ocasión con la participación de Renato Ulloa Valdez, como director general de AGUAH, y el C.P. Gerardo Sandoval Bautista, como representante legal de la empresa. Este segundo convenio actualizó los montos de la contraprestación y pagos que el organismo debía hacer a la empresa, así como los plazos de operación del proyecto y definió con más detalle las casusas y efectos de rescisión del contrato.

5.3.6. Construcción de la PTAR

El 16 de septiembre de 2012 cambió el gobierno en Hermosillo; inició la administración municipal de Alejandro López Caballero, quien designó como director general de Agua de Hermosillo a David Contreras Camou. Un día antes se había protocolizado el arranque de la construcción de la planta con la firma del acta correspondiente; sin embargo, los trabajos empezaron de manera efectiva hasta el 13 de marzo de 2013. Fue durante todo el resto de este trienio cuando la empresa Fypasa Construcciones llevó a cabo la obra. El tiempo previsto en el contrato para tal fin a partir de su entrada en vigor era de 24 meses, es decir, que si el acta se firmó en septiembre de 2012, la planta debía estar concluida en septiembre de 2014. No obstante, los plazos se alargaron un poco. Después de terminada formalmente la construcción, habría un lapso de seis meses para realizar pruebas y corroborar la capacidad de funcionamiento de la planta.

A mediados de 2014 se dio a conocer que el Ayuntamiento de Hermosillo había sido sujeto de una multa por no haber cumplido en tiempo con la obligación de contar con una PTAR, pero que se estaba condonando dicha sanción. La ciudad debía de haber contado con la planta desde el año 2001 y de acuerdo con la Ley Federal de Derechos se aplicaba una multa por carecer de ella. El monto de la pena condonada era de \$11,956 millones de pesos, algo imposible de cargar a los usuarios del servicio de agua a través de la tarifa, ya que significaba, en promedio, un pago de 50 mil pesos por toma (Acuña, 2014).

Inicialmente la obra se debía terminar el 14 de marzo de 2015, pero en esa fecha llevaba solo un avance de 85% (Lozano, 6 de agosto de 2014) y su conclusión se pospuso para el 14 de septiembre de ese mismo año, un día antes de que finalizara la administración municipal del trienio 2012-2015. Sin embargo, tampoco se acabó en esa fecha y se atrasó nuevamente. Todavía un año después, en septiembre de 2016, el director de Agua de Hermosillo declaró que el funcionamiento de la planta tenía varios meses de retraso debido a que faltaban trabajos de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad (Lozano, 27 de marzo de 2015; Lozano, 9 de julio de 2015).

Al final, según lo expresó Manuel Morales Trejo, presidente de la empresa Fypasa, la obra tuvo un costo de poco más de 876 millones de pesos, de los cuales 240 millones fueron aportaciones del gobierno federal y el resto de la iniciativa privada; es decir, de Fypasa, una empresa mexicana que invierte capital mexicano (Fypasa, 2021).

Para su operación, Fypasa creó una empresa filial de propósito específico llamada TIAR de Hermosillo, que es la que aparece en el contrato y que entró en funciones una vez que concluyó la construcción. De acuerdo con lo que informó Manuel Morales Trejo, el costo histórico del metro cúbico de agua tratada fue de \$1.32 pesos, que debía cubrir Agua de Hermosillo a la empresa por el tratamiento. La medición del agua tratada la llevan tanto la empresa operadora como el organismo de agua; de tal suerte que si hay una diferencia, entra un árbitro que decide cuál cantidad es la correcta. También en el terreno de la calidad, la empresa puede tratar la cantidad de agua que le envíe el organismo, pero si no cumple con la calidad establecida en el contrato, enfrenta sanciones muy fuertes. Por otra parte, se proyectó que la PTAR produciría 72% de la energía que requiere el proceso al reutilizar el lodo que se le quita al agua tratada, el cual mediante un método de digestión anaerobia de los lodos primarios y secundarios, con procesos mesofílicos o termofílicos, produce el gas metano que proporciona la combustión necesaria para generar la energía que alimenta a la planta. La producción de energía se estimó en 1650 KW, lo que de haberse cumplido hubiera disminuido el costo de tratamiento por metro cúbico, que fue una de las razones por las que el proyecto se le asignó a Fypasa (Caneyada, 2016).

5.3.7. Operación y auditorías de la PTAR Hermosillo

El 16 de septiembre de 2015 nuevamente hubo reemplazo de autoridades municipales en Hermosillo. El nuevo alcalde fue Manuel Ignacio Acosta, quien con el apoyo de la Junta de Gobierno designó a Renato Ulloa Valdez como director de AGUAH. Fueron estos funcionarios a quienes les correspondió inaugurar y supervisar el inicio de la operación de la planta.

La PTAR Hermosillo comenzó labores, después de un lapso de pruebas, el 1 de diciembre de 2016. Ubicada al poniente de la ciudad, a 4 km del área urbana, por el bulevar Camino del Seri, en un área de 24 hectáreas cercana al lecho seco del río Sonora y adonde se encausaron los colectores de aguas residuales de la

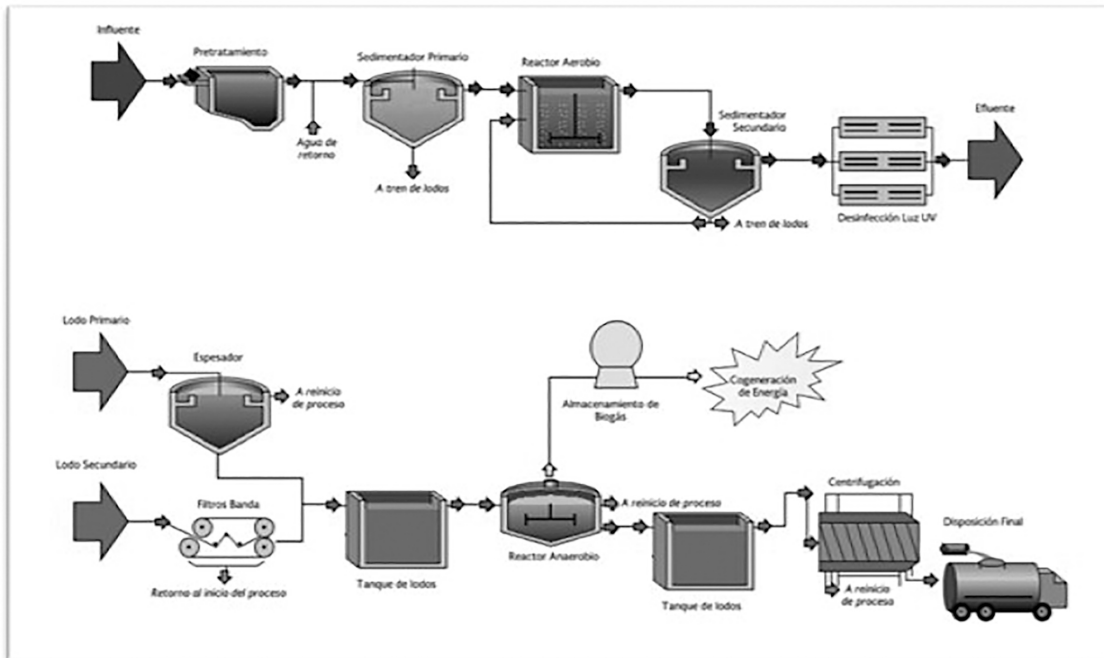
localidad, desde la fecha mencionada la planta inició los procesos y comenzó a producir agua tratada (Agua de Hermosillo, 2021).

Según información que ofrece la página web del organismo, la PTAR Hermosillo tiene capacidad para tratar el 100% de las aguas residuales que genera la ciudad, así como también los lodos, subproducto del proceso de tratamiento. Puede tratar 2 500 litros por segundo, a través de cinco módulos que procesan 500 lps cada uno. La planta utiliza tecnología que cumple con la norma ecológica NOM-003-SEMARNAT-1997 para reúsos públicos con contacto directo, y con la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 para tratamiento y disposición de los lodos. Asimismo, cuenta con un laboratorio propio que diariamente analiza tanto las aguas residuales que llegan, como las ya tratadas, además de que se envían muestras para análisis a un laboratorio externo certificado (Agua de Hermosillo, 2021).

El tratamiento comprende tres trenes o procesos:

1. El *tren del agua residual* que abarca el pretratamiento, el tratamiento primario y el tratamiento secundario o biológico.
2. El *tren de los lodos* incluye el tratamiento de los lodos primarios y secundarios, homogenización de lodos, digestión y desaguado.
3. La *cogeneración y aprovechamiento del biogás* consiste en el aprovechamiento simultáneo de la generación de energía eléctrica utilizando el biogás de los lodos, con lo que se puede obtener 40% de la energía que requiere la planta para su operación. Esta tiene la capacidad de producir 825 kilowatts en cada motogenerador (Agua de Hermosillo, 2021).

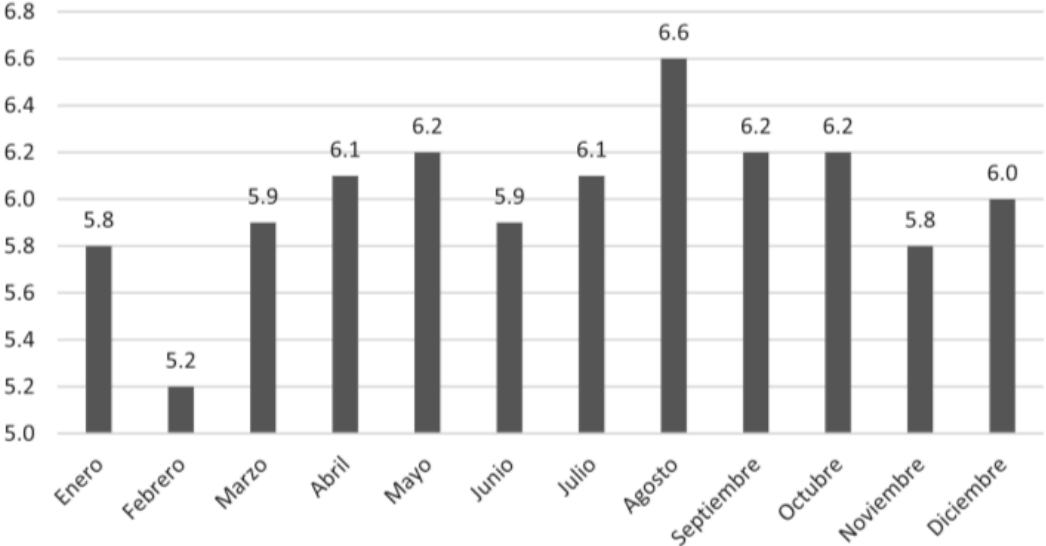
Figura 5.4. Trenes de tratamiento de aguas residuales y de lodos de la PTAR Hermosillo



Fuente: Comisión Nacional del Agua (2014, p. 236).

Como ejemplo de las actividades que lleva a cabo el organismo para supervisar la operación de la PTAR, el Programa Operativo Anual de 2019, en su meta 41722501 de la Gerencia de Saneamiento, señaló que en ese año se llevaría a cabo un “monitoreo mensual” a la calidad de las aguas residuales crudas del influente a la PTAR Hermosillo. También en el Programa Operativo Anual de ese mismo año, de acuerdo con la meta 41732305 de la Gerencia de Uso de Aguas Residuales, los volúmenes mensuales de agua residual tratada oscilaban entre 5.2 Mm³ en febrero y 6.6 Mm³ en agosto. El total que se estimaba tratar en ese año era de 72 Mm³ (Agua de Hermosillo, 2019). Por otra parte, de acuerdo con el Informe Anual de Seguimiento de la Matriz de Indicadores de Resultados de 2019 que publicó el Ayuntamiento de Hermosillo en su página de transparencia presupuestal, el organismo Agua de Hermosillo se propuso tratar un total de 78.5 Mm³ de aguas residuales (de todas las PTAR de la ciudad) y el resultado fue que se trataron 80.3 Mm³, lo que quiere decir que se alcanzó la meta y que se cumplió con el calendario mensual de cuotas de tratamiento de aguas residuales, incluyendo el de la principal planta de la ciudad (Ayuntamiento de Hermosillo, 2019).

Figura 5.5. Volúmenes de agua residual tratada en PTAR Hermosillo en 2019 (millones de metros cúbicos)



Fuente: elaborada con datos de Agua de Hermosillo (2019).

Por otra parte, el pago o contraprestación que AGUAH tenía que hacer por el tratamiento de dichas aguas residuales en 2019 ascendió a un total de \$197.6 millones de pesos, cantidad que equivale a un promedio mensual aproximado de \$16.5 millones de pesos que se cubrieron con una sobrecuota de 35% en los cobros del servicio de agua a los usuarios. Si dividimos esta cifra entre el volumen de agua residual tratada nos arroja un precio de \$2.75 pesos el metro cúbico.

Figura 5.6. Vista de la PTAR Hermosillo en 2016



Fuente: Agua de Hermosillo (2021).

Otra fuente de información sobre la operación de la PTAR Hermosillo es el Cuestionario Único de Información Básica que publican tanto la Comisión Estatal del Agua como el mismo organismo. El cuestionario de 2020 afirma que la PTAR Hermosillo se encuentra prácticamente en el punto de equilibrio de su máxima capacidad de tratamiento de 2 500 lps, por lo que se requiere programar en el corto plazo la construcción de la siguiente etapa, mediante el módulo adicional programado de 500 lps, a fin de estar en condiciones de cubrir las necesidades de tratamiento en el presente y futuro inmediato de la ciudad. Además, el cuestionario deja en claro que se requiere “mejorar la calidad del agua tratada mediante un sistema de cloración para su correcta desinfección y cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM003-SEMARNAT-1997” (CEA, 2020, p. 11).

Por otra parte, a pesar de que se cuenta con una buena disponibilidad de agua residual tratada en el efluente, no se tiene suficiente infraestructura o red de tubería morada para distribuirla y que se reutilice, aprovechándola en los diferentes sectores productivos de la ciudad, como pudiera ser el industrial, de tal forma que se requiere una mayor gestión y promoción para concretar acciones que puedan hacer llegar el agua tratada a los diferentes clientes potenciales de la región (CEA, 2020).

En cuanto a las deficiencias de operación, desde un inicio parece que hubo fallas tanto de parte de la inspección y vigilancia que debería haber llevado a cabo Agua de Hermosillo, como en la operación que debió realizar TIAR Hermosillo como empresa concesionaria encargada de esa tarea. De acuerdo con la investigación emprendida por Escoboza Castillo, Agua de Hermosillo no designó al personal necesario y requerido para vigilar la operación, tampoco se impartió la capacitación necesaria ni se emplazó a un empleado para que estuviera presente en la planta como parte del monitoreo (Escoboza, 2020, p. 83). Por otra parte, la empresa contratista argumentó que no pudo cumplir con los parámetros de calidad del efluente debido a que el agua que entraba a la planta (o influente) no alcanzaba los parámetros requeridos de temperatura y a que llegaba con sulfatos y sulfuros industriales o de descargas clandestinas y contenía demasiada arena, entre otros aspectos (Fypasa, 2020).

En octubre de 2020, la presidenta municipal Célida López Cárdenas ordenó que el Órgano de Control Interno del Ayuntamiento auditara la operación de la PTAR. Esta revisión se practicó en noviembre de 2020, encontrando una serie de incumplimientos en diferentes etapas del proceso y que se resumen en los siguientes puntos:

1. Las aguas crudas de la PTAR Hermosillo se vierten al cauce del río Sonora *sin previo tratamiento*.
2. El agua tratada de la PTAR Hermosillo *continúa teniendo contaminantes* que superan los límites máximos permisibles en los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales.
3. TIAR *no realiza los trabajos de conservación, reparación y mantenimiento* de la infraestructura y equipos de operación del tratamiento para su adecuado funcionamiento y así alcanzar la calidad requerida por las NOM que menciona el contrato. La PTAR Hermosillo no tiene un funcionamiento normal y continuo, por lo que el objeto del contrato no se cumple a cabalidad.
4. La *inoperancia del sistema de cogeneración de energía* de la PTAR Hermosillo confirma que la empresa incumple [...].
5. La empresa obra dolosamente al *no llevar a cabo la disposición final de los biosólidos y la basura*. La empresa es responsable de la disposición final de lodos, sólidos y biosólidos generados, incluido su transporte.
6. A la empresa le corresponde instalar y mantener en buen estado los medidores volumétricos del agua residual que llega (o entra), del agua tratada (que sale) y del agua residual cruda que deriva al cauce del río Sonora. Sin embargo, el monitoreo de los aforos no puede determinarse, a excepción de la medición del flujo de agua tratada ubicada a la salida. La *empresa no ha instalado, reparado o sustituido los medidores de influente, de demasías y los de agua tratada* localizados sobre la línea de conducción [...].

La auditoría determinó que “existen incumplimientos de la empresa TIAR a sus obligaciones contractuales que afectan directamente la prestación del servicio de operación, conservación y mantenimiento de la PTAR y ponen en riesgo la operación de la planta” (Ayuntamiento de Hermosillo 2018-2021, 2021, pp. 27-28).

La recomendación con la que cierra es que resulta “fundamental que la empresa TIAR Hermosillo cumpla sus obligaciones contractuales y la normatividad federal, estatal y municipal aplicable” (Ayuntamiento de Hermosillo 2018-2021, 2021, p. 29).

El 13 de diciembre de 2020, la alcaldesa Célida López Cárdenas anunció su intención de rescindir el contrato a la empresa que opera la planta tratadora (Jaquez, 2020), pero en junio del siguiente año la funcionaria perdió la elección y no fue reelecta en el cargo para otros tres años. Con ello quedó en suspenso su intención de terminar el contrato. Al momento de concluir este libro había voces que llamaban a la negociación y a procurar resolver las deficiencias por la vía conciliatoria. También se dijo que no era posible rescindir el contrato porque eso implicaría que Agua de Hermosillo devolviera a Banobras o al FONADIN el apoyo financiero que recibió para construir la planta. Lo más preocupante de la situación es que, en 2021, la PTAR Hermosillo no funcionaba adecuadamente y la ciudad continuaba sin tratamiento de aguas residuales y sin resolver enteramente el problema de su gestión. A la fecha no está claro si las deficiencias actuales se deben a problemas de diseño de la planta (un contrato mal elaborado), a una inadecuada operación de la empresa, a insuficiencias en la supervisión o monitoreo del organismo operador o una combinación de esas causas. Lo cierto es que la saga de fracasos, extravíos y deficiencias en la gestión de las aguas residuales de la ciudad de Hermosillo seguramente permanecerá

en el futuro. Un aspecto que hay que destacar es la persistente opacidad en la información sobre los procesos de la planta. Para la elaboración de este trabajo se intentó en varias ocasiones obtener información más detallada sobre el volumen y calidad de las aguas de entrada (influyente) y de salida (efluente) de la planta, pero nuestros resultados fueron muy escasos, nos encontramos con mucha falta de datos. Más adelante se requiere que la operación de la planta sea totalmente transparente y que la información se encuentre disponible al público interesado. Esperemos que esta crónica contribuya a un aprendizaje social en este campo tan poco visible y al mismo tiempo tan trascendente de los problemas que enfrenta la ciudad de Hermosillo.

Referencias

- Acuña, D. (6 de agosto de 2014). Condonan deuda. Hermosillo, único sin aguas tratadas. *El Imparcial*, p. 5.
- Agua de Hermosillo (25 de agosto de 2005). *Plan Integral de Saneamiento de la Ciudad de Hermosillo, Sonora*. Hermosillo.
- Agua de Hermosillo. (2012). *Contrato de Servicios del Sector Público No. AGH-DIGO-FED-ADQ-0412-21*. Hermosillo: Gobierno Municipal de Hermosillo, Agua de Hermosillo, Gerencia de Licitaciones y Contratos.
- Agua de Hermosillo. (2015). *Cronología de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*. Hermosillo.
- Agua de Hermosillo. (2015b). *Primer convenio modificadorio al Contrato para la prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Hermosillo*. Hermosillo.
- Agua de Hermosillo. (2019). *Programa Operativo Anual 2019. Informe inédito*. Hermosillo.
- Agua de Hermosillo. (10 de febrero de 2021). *PTAR Hermosillo. La Planta Tratadora de Aguas Residuales de Hermosillo*. Hermosillo: H. Ayuntamiento. Recuperado de <http://aguadehermosillo.gob.mx/aguah/ptar/>
- Agua de Hermosillo y El Colegio de Sonora. (2017). *El enfoque de planeación por escenarios para el reforzamiento de las capacidades adaptativas del organismo operador de Agua de Hermosillo*. Hermosillo: El Colegio de Sonora.
- Aguahh. (2005). *Estudio Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable y Saneamiento de Hermosillo, Sonora*. Hermosillo: Agua de Hermosillo para los Hermosillenses/ Miranda, Arana, Velasco Ingeniería Integral MAV.
- Andrade, I. (3 de febrero de 1994). Concesiona Coapaes planta tratadora de aguas residuales por quince años. *El Nacional*, p. 4.
- Andrade, I. (22 de noviembre de 1994). Invertirá 100 millones de np en planta procesadora de aguas. *Cambio*.
- Arredondo, L. B. (24 de octubre de 1999). Pide permiso para plantas a la Comuna. *El Imparcial*.
- Ayuntamiento de Hermosillo 2018-2021. (2021). *Informe de auditoría mixta realizada a la PTAR Hermosillo por el órgano de control de Agua de Hermosillo iniciada el 28 de julio y concluida el 27 de noviembre de 2020*. Documento entregado a la Junta de Gobierno de Agua de Hermosillo en febrero 2021. Hermosillo, Sonora.

- Ayuntamiento de Hermosillo. (2019). *Informe anual de seguimiento de la matriz de indicadores de resultados (MIR) periodo enero-diciembre 2019*. Hermosillo: autor. Recuperado de <https://www.hermosillo.gob.mx/pages/transparencia-finanzas-publicas.aspx>
- Banco de México. (1996). *Informe Anual 1995*. México: autor. Recuperado de <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/informes-periodicos/anual/%7BA7188884-E289-28A7-A856-9B83EF078AAF%7D.pdf>
- Beltrones, M. F. (1997). *Sonora memoria sexenal 1991-1997*. Hermosillo: Gobierno del Estado de Sonora.
- Bracamonte, Á. (2008). *Evaluación socioeconómica para el proyecto de la planta municipal de tratamiento de aguas residuales de Hermosillo, Sonora. Informe final*. Hermosillo: Agua de Hermosillo, El Colegio de Sonora.
- Caneyada, I. (26 de marzo de 2016). El negocio de la tratadora de aguas, herencia de Javier Gándara. *Primera Plana*, pp. 14-15.
- COCEF. (agosto de 2005). *Proceso de Evaluación Rápida (PER): Proyecto Integral de Saneamiento de Hermosillo, Son.* Hermosillo.
- COCEF. (8 de marzo de 2011). *Documento de certificación COCEF BD 2011-8. Proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Hermosillo, Sonora*. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nadb.org/uploads/files/certprojspabd202011_0820hermosillo20wwtp20certification20document20_span_.pdf
- Comisión Estatal del Agua (CEA). (2020). *Cuestionario Único de Información Básica correspondiente al período enero a diciembre 2020. Sistema de Gestión por Comparación*. Hermosillo.
- Conagua. (2014). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Ciudad de México: autor. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>.
- Conagua. (2019). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Ciudad de México: autor. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>.
- Contreras, C. (6 de agosto de 2008). Pagarán usuarios tratadora. *El Imparcial*, sección Metro.
- Contreras, C. (7 de agosto de 2008). Buscarán que tratamiento cueste lo menos a usuarios. *El Imparcial*.
- El Imparcial. (21 de agosto de 2010). Participan siete empresas por la planta tratadora. *El Imparcial*, sección Metro, p. 1.
- Escoboza, C. P. (2020). *Capacidad institucional del organismo operador Agua de Hermosillo en el saneamiento de las aguas residuales* [tesis de maestría, no publicada]. El Colegio de Sonora.
- Fypasa. (2020). Reunión de directivos de Fypasa con vocales ciudadanos de la Junta de Gobierno de Agua de Hermosillo. Hermosillo, Sonora.
- Fypasa. (2021). *Saneando el agua*. Recuperado de www.fypasa.com.mx
- Gerrard, M. (1993). The Victims of NIMBY. *Fordham Urban Law Journal*, 21(3), 495-522. Recuperado de <https://ir.lawnet.fordham.edu/ulj/vol21/iss3/4>

- Gobierno del Estado de Sonora. (16 de octubre de 1997). *Convenio de Autorización No. 10-1-015-97 para ejecución de obras de urbanización del Parque Industrial Aeropuerto*. Hermosillo: *Boletín Oficial* del Gobierno del Estado de Sonora, pp. 2-10.
- Grupo Protexa. (5 de octubre de 2015). *Grupo Protexa*. Recuperado de <http://www.protexa.com.mx/>
- Hurtado, S. (9 de septiembre de 1999). Desconfían de recicladora. *El Imparcial*.
- Jaquez, D. (14 de diciembre de 2020). “Es un cochinerito”, Célida López expone contaminación de la planta tratadora. *El Sol de Hermosillo*.
- Lozano, Á. (6 de agosto de 2014). Planean la creación de planta en Unison. *El Imparcial*, p. 5.
- Lozano, Á. (27 de marzo de 2015). Hay avance de 85% en planta tratadora. *El Imparcial*.
- Lozano, Á. (9 de julio de 2016). Tiene planta tratadora cuatro meses de retraso. *El Imparcial*.
- Lozano, Á. (7 de septiembre de 2016). Ya casi está lista la planta tratadora. *El Imparcial*.
- Montoya, N. (29 de noviembre de 2011). Inauguran primera planta para tratar aguas residuales. *El Imparcial*.
- Ortega, J. (27 de noviembre de 2008). Ratifica Semarnat planta tratadora. *El Imparcial*, p. 19.
- Peralta, C. (3 de enero de 2001). Desmantelan hoy planta tratadora. *El Imparcial*.
- Ponce de León, G. (5 de noviembre de 2000). Cuidarán la ubicación de plantas tratadoras. *El Imparcial*, s. p.
- Registro Agrario Nacional-PHINA. (2019). Fichas de Núcleos Agrarios de los ejidos La Yesca, Villa de Seris y La Manga. *Registro Agrario Nacional. Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA)*. México: autor.
- Rojas, O. (22 de noviembre de 1994). Tratarán aguas con sistema francés. *El Independiente*, p. 6A.
- Salazar, M. D. (4 de enero de 2001). Llega a su fin pleito por tratadora. *El Imparcial*, s. p.
- SEDUE. (1988). *Ley de equilibrio ecológico y la protección al ambiente*. México: autor. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo83191.html>
- TIASA. (1998). *Expediente técnico de la obra Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Hermosillo*. Hermosillo: autor. Comunicación personal.
- Valenzuela, N. (8 de agosto de 2007). Mejorará abasto planta tratadora. *El Imparcial*, p. 1.
- Vázquez, A. (22 de octubre de 1999). Rumbo al fracaso las tratadoras de agua. *Primera Plana*, pp. 16-17.
- Verdugo, M. (3 de febrero de 1994). Construirán planta residual. *El Sonorense*, p. 18a.

Entrevistas

- Pineda, N. (octubre de 2020). Entrevista a J. L. Jardines, ex director de COAPAES y ex Director de Agua de Hermosillo.
- Pineda, N. (10 de febrero de 2021). Entrevista a E. Martínez Preciado, ex director de Agua de Hermosillo (2003-2006).

6. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Hermosillo enfrenta serias limitaciones en el abastecimiento de agua para la población, pero a pesar de ello no se ha puesto en práctica el reúso de las aguas residuales ni existen proyectos a mediano y largo plazo. La ciudad ha mostrado un rápido crecimiento desde mediados del siglo XX, pasando de ser una población de 25 mil habitantes en 1940 a una urbe de un millón en 2021. En la misma proporción, de ser una sucia molestia que es desechada al lecho seco del río, las aguas residuales han ido alcanzando un volumen considerable con potencial de ser aprovechadas para el desarrollo y la competitividad urbana. El crecimiento demográfico y el incremento de los niveles de ingreso y la calidad de vida de los habitantes van a propiciar una creciente demanda de vegetales, leche, plantas ornamentales, entre otros productos, que pueden ser producidos con las aguas residuales que la misma población genera. Ante la creciente escasez de agua y con la introducción del tratamiento de las aguas residuales es probable y deseable que los usos de las aguas residuales tratadas se multipliquen y se diversifiquen. Los desafíos de la gestión de estas aguas residuales urbanas inevitablemente se volverán más complejos (Scott, Faruqui y Raschid-Sally, 2004).

Por lo anterior, este capítulo revisa la experiencia de la ciudad de Hermosillo en el reúso de las aguas residuales en cultivos agrícolas al poniente de la ciudad como un antecedente y punto de partida hacia un empleo más eficiente y con mayor valor agregado de dichas aguas en los años venideros. En el futuro, estas continuarán aumentando en función del incremento de la demanda de agua que haga la cada vez más creciente población. Por lo mismo, el tratamiento y la disposición de las aguas residuales –tratadas o no– constituye un recurso valioso y estratégico que hasta 2021 no había sido suficientemente atendido ni aprovechado. Sin embargo, el agua residual es parte crítica de la expansión de la ciudad y puede decirse que el crecimiento, la competitividad y la calidad de vida de la gente que habita en Hermosillo dependerán de la gestión que se haga de sus aguas residuales.

6.1. Los ejidos al poniente de Hermosillo

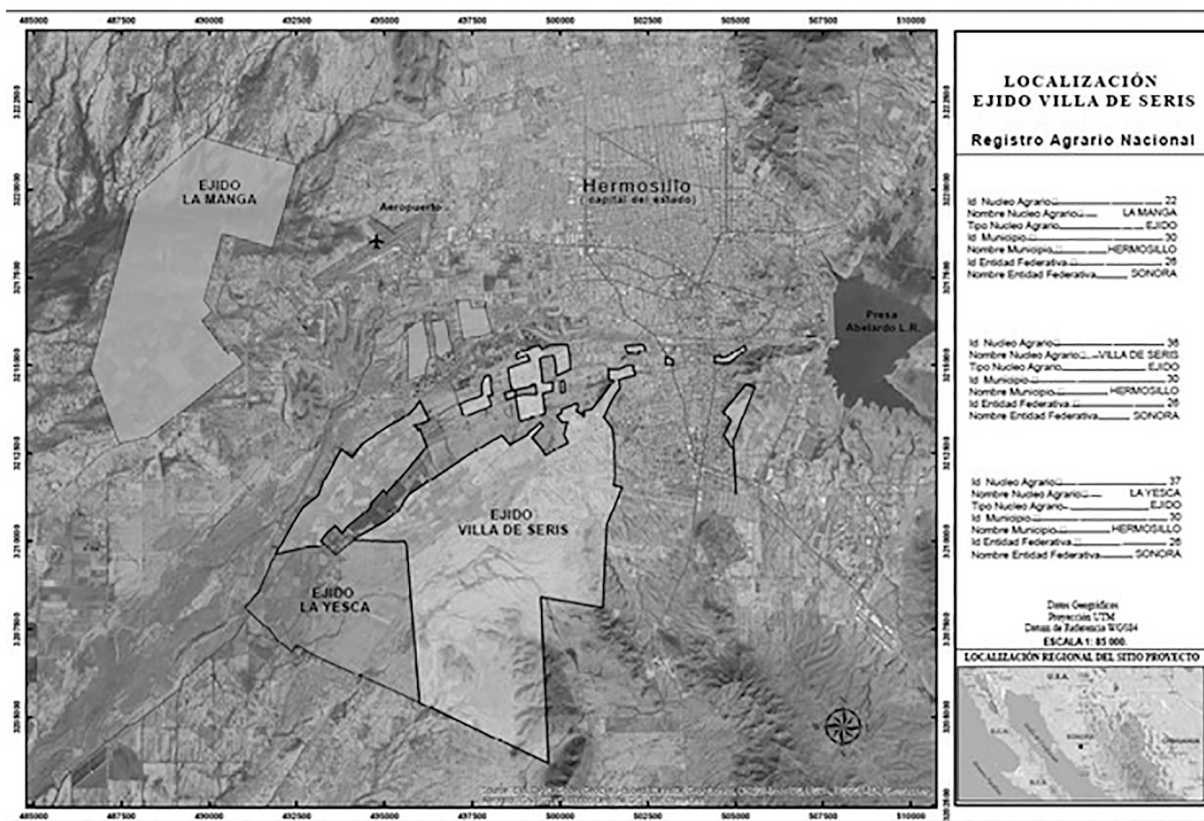
El desarrollo de las ciudades significa un cambio y un reto para el entorno natural y principalmente para las áreas periurbanas. La expansión de Hermosillo ha representado no solo la afectación de las zonas y comunidades rurales periurbanas de donde se extrae el agua para el abasto de la ciudad, sino también una transferencia del líquido al desechar aguas residuales al poniente de la localidad. Esta descarga ha impactado drásticamente tanto la cobertura y los usos del suelo, como las actividades agropecuarias, la producción de alimentos y los modos de vida de las personas asentadas en estas áreas periurbanas (Díaz-Caravantes y Sanchez-Flores, 2011).

Hermosillo, localizada a 200 metros sobre el nivel del mar, se encuentra en una pendiente natural que desciende hacia el poniente, la cual hace que el curso natural de los escurrimientos sea hacia ese punto cardinal,

siguiendo el curso del lecho del río Sonora. Por ello, desde su fundación, las huertas y tierras de cultivo se han localizado principalmente al poniente, a la par de las redes de riego de las antiguas acequias y del mismo curso del río.

En estas áreas periurbanas del lado poniente de Hermosillo, a partir de la década de 1930, el gobierno federal creó varios ejidos. Cada uno agrupa a cierto número de campesinos que se coordinan para realizar actividades agropecuarias. Primeramente, el 30 de junio de 1937, se dotó a 29 beneficiarios del ejido La Yesca con 1 400 hectáreas. Poco después, el 15 de octubre de 1937, se dotó a 242 beneficiarios del ejido Villa de Seris con 3 911 hectáreas. Finalmente, el 2 de octubre de 1941, se entregaron al ejido La Manga 208 hectáreas para 51 beneficiarios (RAN-PHINA, 2019).

Figura 6.1. Localización de los ejidos La Manga, La Yesca y Villa de Seris



Fuente: RAN-PHINA (2019).

Hasta 1948, antes de que se construyera la presa al lado oriente de la ciudad, estos ejidos desviaban agua directamente del río Sonora para sus cultivos y ganadería por medio de una red de canales, entre los que estaban el canal de Villa de Seris (existente hasta la fecha de esta publicación) y otras derivaciones más abajo. No obstante, una vez que en 1948 se concluyó la construcción de la presa Abelardo Rodríguez Luján, estos ejidos pasaron a

formar parte del distrito de riego de las aguas de esa presa. Durante las décadas de 1950 y 1960 esas tierras fueron las principales usuarias de las aguas del embalse de la presa.

Sin embargo, a partir de 1970, ante el acelerado crecimiento demográfico de la ciudad y el rápido incremento de la demanda de agua para usos urbanos, la presa comenzó a ser utilizada para suministrar a la ciudad de agua potable, afectando crecientemente la disponibilidad para el riego agrícola de los ejidos. La transferencia de agua de la presa de uso agrícola a urbano se terminó de concretar en 1981, cuando entró en funcionamiento una primera planta potabilizadora de agua de la presa con capacidad inicial para producir 300 lps para la ciudad. Luego, en 1982 empezó a funcionar una segunda planta con capacidad de potabilizar una cantidad similar a la primera. Posteriormente, estas plantas duplicaron su capacidad a 600 litros por segundo cada una, es decir, a un total de 1 200 lps, con lo que se cubría la demanda de agua de la ciudad de Hermosillo en esos años (Del Castillo, 1994). Suponiendo que esta producción de agua potable hubiese sido constante, el abasto de agua que estas dos plantas potabilizadoras ofrecían era de cerca de 38 millones de m³ al año.

6.2. El reúso ejidal de las aguas residuales

De acuerdo con el testimonio del presidente del comisariado del ejido de Villa de Seris, cuando en los años 70 se empezó a destinar el agua de la presa a la ciudad y a ellos les comenzaron a cerrar la compuerta de riego no hubo ningún aviso ni negociación, solo les dejaron de surtir el líquido de la presa y ellos no tuvieron más opción que utilizar las aguas del canal de aguas negras para regar sus cultivos; en un principio tampoco se asignaron formalmente las aguas residuales para ese fin. El presidente del comisariado declara que ellos no protestaron porque en esos tiempos el gobierno era “de mano dura” y no se le podía reclamar nada; a ellos no les quedó más remedio que ajustarse a las nuevas circunstancias. De este modo, sin ningún acuerdo o asignación oficial, los ejidatarios hicieron las desviaciones y canales requeridos para utilizar y aprovechar las aguas residuales de la ciudad e irrigar sus siembras. En cuanto a las actividades agropecuarias del ejido Villa de Seris, el comisariado informa que desde que comenzaron a regar con aguas residuales el ejido se dedica principalmente al cultivo de forrajes que utilizan para alimentar a su mismo ganado. El trigo y el sorgo se siembra únicamente de manera marginal y las aguas residuales no se utilizan para las hortalizas. Por otra parte, cuestionado respecto de si la utilización de estas aguas de la ciudad ha significado algún riesgo para la salud, responde que ellos no han tenido ningún problema y que, al contrario, se benefician de los nutrientes que contienen (Badilla, 2012).

En 2005, a fin de formalizar la utilización de las aguas residuales, el organismo Agua de Hermosillo solicitó a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura del Gobierno del Estado (SAGARHPA-Sonora) información sobre los cultivos, láminas de riego y gastos de agua requeridos por los ejidos al poniente de la ciudad. La dependencia contestó con un oficio, fechado el 8 de noviembre de ese mismo año, en el que planteó la información que se presenta a continuación.¹

El ejido La Yesca tenía un padrón de 49 derechos, cada uno con una superficie individual de ocho hectáreas, es decir, una superficie total de 392 hectáreas. Cada ejidatario sembraba cuatro hectáreas autorizadas (para riego) y cuatro bajo riesgo del productor, “presentándose problemas en los períodos entre uno y otro riego, lo cual sucede cada 40 o 45 días, debido al bajo volumen que se recibe en el canal alimentador” (anexo 1, p. 1).

¹ La información acerca de los ejidos que se presenta en los párrafos siguientes fue tomada del documento que aparece en el anexo 1 de este libro, se obtuvo a través del archivo del organismo Agua de Hermosillo.

De acuerdo con el plan de riego, el ejido se ocupa de cuatro cultivos que son trigo, *rye grass*, sorgo forrajero y maíz, los cuales tenían programado recibir un riego pesado de una lámina de agua de 20 centímetros los días 20 de octubre, 20 de diciembre, 15 de mayo y 15 de julio. Después de estos recibían riegos de auxilio de láminas de 15 o 10 centímetros de agua en los meses posteriores.

Tabla 6.1. Plan de riegos y cultivos con aguas residuales del ejido La Yesca

Cultivo	Superficie (ha)	Lámina neta (cm)	Número de riegos	Volumen neto (Mm ³)	Volumen bruto (Mm ³)
Trigo	392	70	5	2 744	4221.00
<i>Rye grass</i>	392	90	7	3 528	5427.69
Maíz	392	70	5	2 744	4221.54
Sorgo forrajero	392	80	6	3 136	4824.62

Fuente: Anexo 1.

En lo que respecta al ejido Villa de Seris, la superficie autorizada para riego era de cuatro hectáreas por derecho, con un total de 195 derechohabientes. Con el volumen disponible del canal El Álamo y El Jagüey se sembraban alrededor de 970 hectáreas en una superficie dominada por dichas aguas, enfrentando el mismo problema del ejido La Yesca en cuanto al suministro de riegos oportunos a los cultivos (Anexo 1).

Tabla 6.2. Plan de riegos y cultivos con aguas residuales del ejido Villa de Seris

Cultivo	Superficie (ha)	Lámina neta (cm)	Número de riegos	Volumen neto (Mm ³)	Volumen bruto (Mm ³)
Trigo	970	70	5	6 790	13 580
<i>Rye grass</i>	970	90	7	8 730	17 460
Maíz	970	70	5	6 790	13 580
Sorgo forrajero	970	80	6	7 760	15 520

Fuente: Anexo 1.

El ejido La Manga tenía registrado un padrón de usuarios de distrito de riego de 52 ejidatarios para beneficio de 208 hectáreas, las cuales eran regadas por agua de la presa Abelardo Rodríguez Luján. “El último año que regó con dichas aguas fue en 1991” (Anexo 1, p. 1). Posteriormente, a solicitud del ejido, en el predio El Chanate se les construyó un cárcamo de bombeo, con el que se favorecía a 32 ejidatarios para regar 128 hectáreas,

quedando sin riego 20 integrantes del predio Los Choros, debido a que esa tierra no fue dominada por esta fuente de abastecimiento. Cabe mencionar que la Secretaría de la Reforma Agraria dotó al ejido con una ampliación en la que se formaron dos sectores de trabajo de 32 ejidatarios, quedando ubicados en el predio denominado Los Bagotes. En 1998, aproximadamente, algunos de estos ejidatarios iniciaron trabajos en dicho lugar, localizado a la altura del kilómetro 14 de la carretera que conduce a Bahía Kino, con la finalidad de adecuar los mencionados terrenos para utilizarlos con fines agrícolas y regarlos con aguas residuales. Este predio se encuentra fuera de los límites de la zona de riego de la presa, por lo que no se cuenta con información estadística acerca de los cultivos, de la superficie sembrada, lámina de riego, etcétera (Anexo 1).

En 2005, de las 128 hectáreas del predio El Chanate, se sembraron alrededor de 50, las cuales eran regadas mediante el cárcamo de bombeo. Algunos de los usuarios de los predios El Chanate y Los Choros prefirieron hacer sus cultivos en Los Bagotes, ya que así ahorran en el pago de energía eléctrica, en reparaciones del equipo y pago del operador del cárcamo, entre otros gastos (Anexo 1).

Por otra parte, entre los usuarios de las aguas residuales hay que contar también al ejido San Miguel, creado el 14 de febrero de 2002 y dotado con 1 209 hectáreas para 30 beneficiarios (RAN-PHINA, 2019). Este ejido, en 2005 sembraba 100 hectáreas con el apoyo de los ejidos Villa de Seris y La Yesca, que le proporcionaban 200 mil m³ de agua al menos para un riego (Anexo 1).

Tabla 6.3. Plan de riegos y cultivos con aguas residuales del ejido La Manga

Cultivo	Superficie (ha)	Lámina neta (cm)	Número de riegos	Volumen neto (Mm ³)	Volumen bruto (Mm ³)
<i>Rye grass</i>	128	90	7	1 152	1 772.31
Sorgo forrajero	128	80	6	1 024	1 575.38

Fuente: Anexo 1.

De igual forma estaban los pequeños propietarios, que con cultivos de temporal y bajo riesgo sembraban aproximadamente 400 hectáreas, con lo cual se beneficiaban 35 productores, utilizando alrededor de 800 mil m³. Además de las anteriores, la SAGARHPA también atendía solicitudes de suministro de 150 mil m³ de agua para represas de abrevadero dos veces al año (Anexo 1).

Con la información proporcionada por la SAGARHPA-Sonora y previas negociaciones con los comisariados de los ejidos involucrados, el 3 de mayo de 2006 el organismo Agua de Hermosillo firmó un acuerdo con los ejidatarios, a fin de “promover el proyecto del saneamiento integral de las aguas residuales de Hermosillo, Sonora y la regularización de los derechos de agua de las zonas ejidales” (Agua de Hermosillo y Ejidatarios de Villa de Seris, 2006, p. 1). En dicho acuerdo, Agua de Hermosillo declaró:

- Haber desarrollado a nivel de prefactibilidad el proyecto de construir una planta de tratamiento de aguas residuales para 1 600 lps.

- Que dentro de las premisas iniciales del proyecto estaba la de continuar abasteciendo agua a las zonas ejidales que históricamente habían sustentado su uso, entre las que se encuentra el ejido Villa de Seris, con la diferencia de que el agua comprometida sería tratada.
- Que Agua de Hermosillo compró predios por una superficie conjunta de 30 ha en la circunscripción ejidal de Villa de Seris, para desarrollar estudios de impacto ambiental y proyectos ejecutivos.
- Que la obra proyectada contemplaba, además de la planta de tratamiento, los trabajos necesarios para poner a disposición el agua tratada a la altura de la compuerta 11 del canal Villa de Seris.
- Que Agua de Hermosillo definiría en conjunto con las autoridades estatales y ejidales la emisión de acuerdos de agua asociados al predio, compromiso que subsistiría en tanto no cambiara el uso de suelo, en cuyo caso el derecho de otorgamiento de las aguas tratadas se reservaría para Agua de Hermosillo.
- Agua de Hermosillo, dentro del ámbito de sus facultades, se comprometió a contemplar al ejido Villa de Seris, particularmente a aquellos integrantes que se encontraban topográficamente dentro de la zona de influencia de la infraestructura de la planta (compuerta no. 11), como beneficiarios del agua tratada que generara la planta de tratamiento en cuestión para su uso en riego agrícola o actividades pecuarias.
- Los acuerdos contenidos en este instrumento quedaron sujetos a condiciones de disponibilidad de agua y de ninguna forma implicaron que Agua de Hermosillo asumiera responsabilidades o funciones diversas a las que la legislación vigente le confería como organismo operador del servicio de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales (Agua de Hermosillo y Ejidatarios de Villa de Seris, 2006).

Por su parte, los ejidatarios de Villa de Seris, representados por sus autoridades del Comisariado Ejidal, declararon:

- Estar de acuerdo en que era necesario tratar las aguas residuales de la ciudad de Hermosillo y reutilizarlas en el riego agrícola o actividades pecuarias, por lo que sin inconveniente alguno aceptaron el proyecto.
- Aceptar los acuerdos de agua tratada a favor del poseedor del predio donde se realizara la actividad agropecuaria, en el entendido que de enajenar el predio para otro uso de suelo distinto el acuerdo de agua se revocaría y los derechos del agua correspondientes se reservarían para Agua de Hermosillo.
- Aceptar el planteamiento del proyecto para tratar las aguas residuales y ser contemplados como beneficiarios de aguas tratadas para actividades agropecuarias.
- Estar de acuerdo y comprometerse a otorgar sin costo alguno, a favor de Agua de Hermosillo o de la autoridad correspondiente, la autorización para constituir la servidumbre de paso, derechos de vía y demás derechos necesarios para construir, introducir, dar mantenimiento, reparar o reponer las instalaciones hidráulicas y eléctricas requeridas para los efectos señalados en ese instrumento. Esos derechos se constituirían sobre una superficie suficiente que permitiera la introducción y operación de vehículos y maquinarias (Agua de Hermosillo y Ejidatarios de Villa de Seris, 2006).

Con base en las anteriores declaraciones, ambas partes se comprometieron, en lo individual o en forma conjunta, a promover y realizar las gestiones correspondientes para facilitar los puntos de acuerdo anteriormente manifestados ante las autoridades competentes (Agua de Hermosillo y Ejidatarios de Villa de Seris, 2006).

A partir de 2017, después de la entrada en operación de la PTAR Hermosillo, los agricultores de los ejidos han continuado regando sus tierras con las aguas residuales tratadas. De acuerdo con el Programa Operativo Anual de 2019, el organismo Agua de Hermosillo planeaba destinar un total de 45.3 Mm³ de agua tratada para el riego agrícola de los ejidos del poniente de la ciudad, lo que representa 63% del total de los 72 millones de agua que se trataron en ese año.

Tabla 6.4. Proporción de aguas tratadas destinadas al uso agrícola 2019

	Total de aguas tratadas (Mm³)	Aguas tratadas destinadas a uso agrícola (Mm³)	% uso agrícola
Enero	5.8	4.6	79
Febrero	5.2	4.2	81
Marzo	5.9	4.7	80
Abril	6.1	4.9	80
Mayo	6.2	3.1	50
Junio	5.9	3.0	51
Julio	6.1	2.5	41
Agosto	6.6	2.6	39
Septiembre	6.2	2.5	40
Octubre	6.2	3.7	60
Noviembre	5.8	4.7	81
Diciembre	6.0	4.8	80
Total anual	72.0	45.3	63

Fuente: elaborado con datos de Agua de Hermosillo (2019).

La Tabla con los volúmenes de agua tratada designada a tareas agrícolas muestra que la mayor demanda se registra en los meses de noviembre a abril y baja considerablemente de mayo a octubre.

Por otra parte, se aprecia que la agricultura periurbana de Hermosillo absorbe una gran proporción del agua residual tratada que alcanza casi los dos tercios. Sin embargo, aun con este alto porcentaje, restan 26.7 Mm³ que podrían ayudar a reducir la demanda de agua de la ciudad y ser reutilizada en actividades industriales o en el riego de parques y jardines, u otras.

Tabla 6.5. Evolución del reúso agrícola de las aguas residuales de Hermosillo

Fecha	Comentario
1937 y 1941	Dotación de tierras a los ejidos de Villa de Seris, La Yesca y La Manga. Los ejidos se riegan con agua del río Sonora.
1948	Concluye la construcción de la presa Abelardo Rodríguez y se crea del distrito de riego de la presa, al que pertenecen los ejidos.
1970 década	Se construyen dos potabilizadoras y la ciudad de Hermosillo comienza a utilizar el agua de la presa para abastecer a la población. Paralelamente los ejidos dejan de recibir agua de la presa y empiezan a regarlos con las aguas residuales.
2006, 3 de mayo	Agua de Hermosillo firma un acuerdo con los ejidos, a fin de formalizar sus derechos a utilizar el agua residual para riego agrícola.
2016, 1 de diciembre	La PTAR Hermosillo comienza a tratar las aguas residuales de la ciudad y los ejidos reciben agua tratada.
A partir de 2017	Se destina a los ejidos aproximadamente 45 Mm ³ de agua residual tratada. Restan alrededor de 27 millones que pueden tener otros usos urbanos.

Fuente: elaboración propia con base en documentos oficiales.

Para concluir, la ciudad de Hermosillo cuenta con un gran potencial para reutilizar las aguas residuales producidas, lo que de llevarse a cabo reduciría la vulnerabilidad e inseguridad hídrica que actualmente padece. Ciertamente ha habido desde los años 80 un reúso agrícola de aguas residuales, pues una vez que se tratan, las oportunidades y alternativas se multiplican. Un reúso estratégico es que dichas aguas se empleen para aumentar sustancialmente las áreas verdes de la ciudad, aunque sería lamentable que solo la aprovecharan desarrollos inmobiliarios de alto nivel que favorecen a los estratos más privilegiados de la población. En este sentido, es prioritario que se avance en el proyecto del parque metropolitano, así como en la revitalización de otras áreas verdes de la localidad –como el parque La Sauceda– abiertas al público general y que incrementan la infraestructura verde. También sería atractivo que se reutilizaran en actividades industriales que les agreguen mayor valor, similar a las que desarrolla Unión Fenosa. Existen entonces múltiples posibilidades de reúso comercial e industrial.

Un problema es que Agua de Hermosillo no cuenta con un área de planeación que se encargue de organizar y promover la reutilización; su desempeño se concentra en el día a día y tiene muchas otras áreas que atender y desarrollar. Por ello, resulta recomendable que Gobierno del Estado, a través de sus dependencias de desarrollo urbano y promoción industrial, tome cartas en el asunto del reúso industrial y comercial de las aguas residuales con el desarrollo de líneas moradas –la red de tuberías exclusiva para la distribución de aguas tratadas– y que se fomente ese tipo de recicle. Asimismo, es recomendable que el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) promueva una mejor planeación de estos usos y evite que las aguas tratadas se destinen exclusivamente a desarrollos inmobiliarios de alto nivel. Del buen aprovechamiento de las aguas residuales tratadas depende en buena medida el futuro y la sustentabilidad de la ciudad de Hermosillo.

Referencias

- Agua de Hermosillo y Ejidatarios de Villa de Seris. (2006). *Acuerdo para promover el proyecto del saneamiento integral de las aguas residuales de Hermosillo, Sonora, y la regularización de los derechos de los ejidos 3 mayo 2006*. Hermosillo: Agua de Hermosillo.
- Del Castillo, J. M. (1994). Protección y restauración ecológica-ambiental de la Presa Abelardo Rodríguez Luján, en Hermosillo, Sonora. *Estudios Sociales*, 5(9), 65-102.
- Díaz-Caravantes, R. y Sánchez-Flores, E. (2011). Water transfer effects on peri-urban land use/land cover: a case study in a semi-arid region of Mexico. *Applied Geography*, 31, 413-425.
- RAN-PHINA. (2019). Fichas de Núcleos Agrarios de los ejidos La Yesca, Villa de Seris y La Manga. *Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA)*. México: Registro Agrario Nacional.
- Scott, C., Faruqui, N. I. y Raschid-Sally, L. (2004). Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Management Challenges in Developing Countries. En C. Scott, N. I. Faruqui y L. Raschid-Sally (eds.), *Wastewater Use in Irrigated Agriculture. Confronting thr Livelihood and Environmental Realities* (pp. 1-10). Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI Publishing and International Water Management Institute.

Entrevista

- Pineda, N. (14 de marzo de 2012). Entrevista R. N. Badilla, comisariado del ejido de Villa de Seris.

A MANERA DE CONCLUSIÓN

En la introducción de este trabajo planteamos tres preguntas que lo impulsaron. Habiendo revisado todo el proceso y los proyectos que se intentaron y construyeron, aquí tratamos de contestar breve y puntualmente a dichas interrogantes.

¿Por qué tardó tanto Hermosillo en contar con una planta de tratamiento de aguas residuales? La respuesta es que, desde que se estableció la política de saneamiento en México, las diversas autoridades encargadas del abastecimiento de agua potable y manejo de las aguas residuales de Hermosillo hicieron y continúan haciendo múltiples intentos por llevar a cabo el saneamiento, cumplir con las disposiciones de la política y favorecer el desarrollo de la ciudad. Sin embargo, como dice el dicho, “del plato a la boca se cae la sopa”, o mejor aquel otro que sostiene que “del dicho al hecho hay mucho trecho”. En la administración pública, las buenas intenciones no bastan. Incluso ni siquiera son suficientes buenos planes y propuestas de gabinete, ni contar con generosos presupuestos, hay otros elementos clave que fallaron o que se estuvieron entrometiendo en la realización de los proyectos. Lo que queda claro aquí es que invariablemente el resultado de las políticas no dependió de la voluntad y decisión de una sola autoridad, sino de la concertación y concurso de una red de actores. El primer intento hecho con la PTAR de Protexa (1994-1997) aparentemente fracasó por problemas en el contexto financiero, pero también muestra que hubo tráfico de influencias, información confidencial y conflicto de intereses en la expropiación de terrenos del ejido La Manga y otras operaciones financieras del proyecto como, por ejemplo, el pago del inspector. La obra estaba pensada para cumplir a tiempo con la política y para el lucimiento político de un gobierno antes de concluir el sexenio, pero resultó todo lo contrario y a fin de cuentas en la memoria de ese gobierno ni siquiera se mencionó el proyecto incompleto. Otro intento fue el de construir múltiples plantas de tratamiento pequeñas y medianas distribuidas en la ciudad, en lo que puede considerarse un esquema descentralizado de saneamiento (1999-2001) que en primera instancia resultó atractivo y efectivo, pero que fue vetado por la participación ciudadana desde su mismo arranque y no se pudo poner en operación. Eso sucedió con la PTAR instalada en el campus de la Unison, en la esquina de la calle Sahuaripa y bulevar Colosio, que fue cancelado por los vecinos de las colonias aledañas por considerar que podía generar malos olores y que devaluaba sus propiedades. Al respecto, es posible decir que a las autoridades les faltó flexibilidad en el proyecto, ya que posteriormente se construyó una planta en otra ubicación del campus, o bien que el veto ciudadano fue resultado de la oposición y rivalidades políticas que se vivían en esos años; puede pensarse que constituye uno de los primeros ensayos de participación política y que la participación ciudadana estaba poniendo a prueba su alcance con las autoridades. El caso es que el segundo proyecto de la lista de pequeñas plantas se construyó y luego se tuvo que cancelar y dismantelar. El tercer intento de edificar nuevamente una gran PTAR al poniente de la ciudad muestra todavía con mayor claridad las complejidades de la política. Los primeros planes y estudios efectuados (de lagunas de oxidación al poniente y PTAR en el parque industrial) se descartaron durante los cambios de gobierno

y en el empeño de no dar continuidad al plan de un gobierno anterior. Posteriormente, la licitación y asignación de la obra fue impugnada en dos ocasiones, siendo finalmente asignada directamente a la empresa Fypasa, lo cual absorbió todo un trienio municipal. Posteriormente, en los gobiernos municipales subsecuentes, la construcción de la obra también se demoró y su inauguración estuvo sujeta a los tiempos políticos de los periodos de gobierno y a la construcción de obras complementarias que no fueron hechas a tiempo. Finalmente la planta se inauguró el 1 de diciembre de 2016, empero, la operación tuvo problemas prácticamente desde un principio y mostró deficiencias hasta llegar al punto en que, a principios de 2021, la alcaldesa Célida López, en vista de las serias deficiencias de la operación de la PTAR, anunció su intención de rescindir el contrato a Fypasa. De este modo, al tiempo de concluir la presente publicación, el futuro de la PTAR Hermosillo era incierto y dependía de múltiples factores y actores. Retomando la respuesta a la pregunta, puede decirse que la planta se retrasó en repetidas ocasiones por la falta de un grupo ciudadano con suficiente fuerza que la solicitara, impulsara y le diera continuidad. Por indolencia y falta de interés, las autoridades le otorgaron poco peso al proyecto y fue utilizado para sus propios fines políticos, como acatando pero sin cumplir. Más aún, no solo no hubo grupo o demanda ciudadana que le diera sustento, sino que incluso un conjunto de personas vetó uno de los intentos. Los ciudadanos y grupos cívicos han tenido poco interés en este tipo de iniciativas y las autoridades más bien aprovechan esa situación para aumentar su capital político. A la planta y al saneamiento le ha faltado el respaldo de la población y una exigencia social que le dé apoyo político, que demande transparencia y rendición de cuentas y de esta forma que sostenga al proyecto.

¿Cómo se han aprovechado hasta ahora las aguas residuales de la ciudad? Desde al menos la década de 1970 se han utilizado en cultivos agrícolas de los ejidos del poniente de la ciudad, pertenecientes al distrito de riego de la presa Abelardo Rodríguez Luján. Estos ejidos dejaron de recibir aguas de dicha presa y modificaron su sistema de riego para darle un uso a las aguas residuales de la ciudad. Una afectación del cambio de tipo de aguas fue restringir el resultado de los cultivos a principalmente forrajes. No hay estudios que muestren un daño directo a la salud de los ejidatarios o a la calidad de los alimentos que ellos producen; sin embargo, la COCEF recopiló estadísticas que sugieren una alta incidencia de enfermedades gastrointestinales en Hermosillo. Hace falta también analizar si las sales u otros componentes de las aguas negras han tenido algún impacto en la calidad de los suelos agrícolas en donde se emplearon. Un problema que se presentaba ocasionalmente eran los malos olores de estas aguas residuales, lo que al parecer se solucionó con la operación de la PTAR a partir de 2017 y los ejidos continúan haciendo uso de las aguas residuales ahora tratadas. Por otra parte, ha habido una serie de iniciativas privadas para el tratamiento de las aguas residuales, a fin de destinarlas a parques, campos deportivos, campos de golf y lagos artificiales. El organismo de agua construyó las plantas de la Saucedá y de Los Arroyos, que lamentablemente desde 2021 no están operando. Las propuestas que han tenido continuidad son principalmente las de instituciones privadas y las de desarrolladores inmobiliarios. Hay que llamar la atención en que existe una tendencia en Hermosillo de canalizar las aguas residuales principalmente a fraccionamientos de lujo, lo que es lamentable, ya que su mejor utilización debiera ser para parques y áreas verdes públicas de la ciudad, así como para otras actividades que reduzcan la demanda de la red de agua potable y eleven la competitividad y la seguridad hídrica de la ciudad, y no solo la de uno de los sectores de mayor poder económico. En este aspecto, ni el organismo ni los gobiernos municipal y estatal han mostrado suficiente iniciativa, y parece que dejan de emprender proyectos de reúso urbano pero toleran, autorizan y permiten prosperar desarrollos inmobiliarios privados que únicamente benefician a grupos de alto nivel económico. Está claro que se requiere de una política e

intervención más proactiva de las autoridades en este campo. Aquí también hace falta mayor difusión de esta información y mayor intervención ciudadana en beneficio de la ciudad en su conjunto.

Por otra parte, hay que mencionar la opción del reúso industrial que ya lleva a cabo la empresa Unión Fenosa en actividades de enfriamiento para producir energía eléctrica. Es conocido que tal acción representa una fuente de ingresos para el organismo y es la actividad que mayor valor agregado le da a las aguas residuales, aunque hacen falta más proyectos con esta finalidad. Es lamentable que los proyectos que hubo para el establecimiento de la PTAR en el parque industrial de Hermosillo no se hayan concretado, ya que hubieran contribuido a reducir la demanda de la red de agua potable en la ciudad de las industrias existentes. Está claro que, en el futuro inmediato, se requiere una promoción más intensa orientada a que las industrias de Hermosillo reutilicen las aguas tratadas y a promover el establecimiento de parques industriales para este propósito al poniente de la ciudad, toda vez que su crecimiento, competitividad, bienestar y sustentabilidad depende del reúso de las aguas residuales.

¿Qué puede aprenderse de los proyectos fallidos y de los fracasos en materia de saneamiento? Vista en retrospectiva, la trayectoria del saneamiento de Hermosillo ofrece muchas lecciones y experiencias que deben de ser retomadas para el aprendizaje social. El camino hacia el saneamiento urbano ha sido largo, tortuoso, lleno de escollos y obstáculos. Cada uno de los sucesos aquí expuestos pueden ser objeto de debate y de deliberación pública, pero entre las lecciones que pueden extraerse están las siguientes.

Primero, al menos en el área del saneamiento, es fundamental la participación de grupos ciudadanos ambientalistas que lo demanden y lo impulsen. Sin este ingrediente, los planes y proyectos serán desviados hacia propósitos y fines políticos. Al menos hasta ahora, se advierte la falta de un mayor interés y preocupación de grupos ciudadanos y de las autoridades por alcanzar el saneamiento urbano. Para lograr más participación e involucramiento ciudadano se debe exigir transparencia por parte de los encargados de la operación de la PTAR hacia el público en general y que se realicen estudios continuamente acerca de la eficiencia de la remoción de contaminantes y del desempeño de la planta. Haciendo el papel de abogado del diablo, un tema de reflexión y de discusión pudiera ser si existía un problema de salubridad con las aguas residuales crudas para uso agrícola que perduró durante más de 30 años y si hay una demanda social que apoye el tratamiento de las aguas residuales. Parece que el cumplimiento del saneamiento se hizo más por motivos teóricos y abstractos, y no por un problema real y concreto. ¿Qué tan serio es realmente el asunto de las aguas residuales de la ciudad? ¿Amerita el alto costo de pagar una gran PTAR? ¿Por qué no hay grupos ambientalistas y mayor participación ciudadana en este rubro específico?

Segundo, las dependencias de gobierno y sus titulares tienen gran aprecio por la obtención de generosos financiamientos y la construcción de obras de infraestructura que queden para la posteridad, sobre todo si llevan su crédito en una placa de bronce y la respectiva nota de prensa, así como si son un dato relevante en los informes de gobierno, pero no ponen el mismo empeño en la operación y mantenimiento cotidiano y prolongado de estas obras. Muchas de ellas se gestionan y edifican con gran empeño, se inauguran con bombo y platillo para luego ser mal administradas y abandonadas. Esto es lo que ha ocurrido con las PTAR municipales de La Saucedá y sobre todo con la gran PTAR Hermosillo inaugurada en diciembre 2016. En este sentido, los entes federales de financiamiento como Banobras y otros deberán revisar sus políticas, a fin de no solo brindar incentivos a la construcción, sino sobre todo –y principalmente– a la operación y mantenimiento exitoso de las PTAR del país.

Tercero, desde el punto de vista del diseño y consecución de las políticas públicas se observa que estas no son resultado de un único actor público, sino principalmente de redes de actores que intervienen y “meten su cuchara” en el diseño y la puesta en práctica de las decisiones. En las políticas públicas no existe el plan de gabinete y el expediente técnico completo que sirva de guion definitivo y final para ir construyendo paso a paso, como en una obra de ingeniería, el diseño preelaborado. Lo que hay es un conjunto de actores, que pueden ser legisladores que redactan disposiciones confusas, funcionarios con un cometido, proveedores y contratistas interesados en las utilidades, afectados que se enteran tardíamente de los daños, medios de comunicación que buscan la nota una sola vez y ya no le dan seguimiento, grupos de ciudadanos que se preocupan por causas a veces con apoyo externo, académicos que observan con lentes teóricos sin comprometerse a fondo con los asuntos públicos, políticos y partidos que buscan abonarse capital político y otros factores contextuales, muchas veces no previsibles, que afectan las decisiones, desvían los proyectos originales, obstaculizan su desarrollo y que pueden llegar a impedirlos o a retrasarlos significativamente. La lección es que, a través de la transparencia y la rendición de cuentas, hay que incorporar la participación y deliberación pública en el diseño de las políticas. Esto no hará más sencillos los proyectos, pero sí más viables y ahorrará muchos contratiempos.

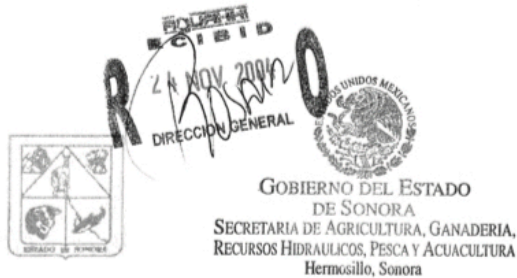
Cuarto, es necesario crear y construir entidades e instituciones públicas con capacidad de planear a mediano y largo plazo, así como darles dirección y continuidad a las políticas públicas locales. La alta rotación de funcionarios y autoridades hídricas ha sido muy dañina y costosa para el saneamiento de las aguas. Los proyectos se rehacen y recomponen no en función del objetivo del saneamiento, sino de los cambios de autoridades y los periodos de gobierno. En este aspecto, tanto el organismo Agua de Hermosillo como el Ayuntamiento de Hermosillo y el IMPLAN carecen de capacidad institucional suficiente para planear y mantener orientadas en la dirección del cumplimiento a las políticas y al avance en la operación y logro de indicadores de eficiencia y alcance de metas. El órgano que más se acerca a la planeación urbana es el IMPLAN, sin embargo su participación en la política de planeación ha sido marginal y hay la percepción de que tampoco cuenta con la capacidad, recursos y fuerza política suficiente para tomar el timón y mantener el rumbo de las decisiones. De la competencia de estas instituciones dependen iniciativas como el impulso a la separación del drenaje sanitario del drenaje pluvial y el desarrollo de normativas, proyectos y procesos de cosecha de agua de lluvia. Otras políticas de largo plazo que hay que emprender son fomentar una economía circular que promueva y planee un esquema más descentralizado de las plantas de tratamiento y su acercamiento a los espacios y actividades susceptibles de reutilizar agua residual. A manera de ejemplo, alguna institución debe de tomar cartas en el asunto respecto del reúso de las aguas residuales por las empresas cementeras, así como otras del parque industrial que se encuentra al oriente de la ciudad. El organismo de agua no tiene la facultad para encargarse individualmente de este tipo de asuntos, ya que trascienden sus objetivos principales y tienen cierto grado de transversalidad. Hace falta también una mayor coordinación e integración con las políticas de parques, jardines y áreas verdes de la ciudad. En el largo plazo puede pensarse incluso en proyectos que promuevan la recarga de los acuíferos ubicados aguas arriba del río Sonora, que alimentan los pozos de agua subterránea de la ciudad. Todas estas actividades requieren de instituciones públicas, privadas o mixtas capaces de promover proyectos de largo plazo y llevarlos a su cumplimiento.

Quinto, al revisar y observar la situación de la disponibilidad y gestión del agua en Hermosillo se aprecia la importancia estratégica que tiene reutilizar las aguas residuales para el beneficio de la ciudad en su conjunto, pues ya no cuenta con nuevas fuentes de abasto de agua. Sus alternativas para obtenerla en el futuro son la transferencia de agua de uso agrícola a uso público-urbano, la mayor eficiencia en la distribución y suministro a

través de la red y, lo que aquí nos interesa resaltar, la reutilización de las aguas residuales. Es una gran paradoja que mientras que se extrae agua de acuíferos deficitarios y se transporta de otra cuenca a un alto costo de energía eléctrica, al mismo tiempo se desechan al poniente de la ciudad casi 27 Mm³ de aguas tratadas, que no se aprovechan para atender la demanda de la ciudad y únicamente recargan los acuíferos del poniente, en beneficio de los agricultores de la Costa de Hermosillo. Las aguas residuales tratadas deben ser explotadas para el beneficio de toda la población y no para el confort de unos cuantos desarrollos de estatus alto. Modificar esta tendencia puede radicar en conocerla y en la deliberación pública sobre este asunto. Las autoridades de planeación municipal, como el Instituto Municipal de Planeación, y dependencias estatales como la secretaría encargada de los temas urbanos y otros organismos públicos deben desempeñar un papel más proactivo en la promoción y puesta en práctica de reúsos de aguas residuales que signifiquen desarrollo sustentable para la ciudad.

ANEXO

Ing. Cortés



GOBIERNO DEL ESTADO DE SONORA
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura

Oficio No. 12/01A323-2005.
Hermosillo, Sonora, a 08 de noviembre de 2005.
"2005, Año de la Niñez con Discapacidad"

**C.P. ENRIQUE A. MARTINEZ PRECIADO,
DIRECTOR GENERAL DE AGUAHH,
P R E S E N T E.-**

Por éste conducto me permito poner a su consideración respuesta a oficio N.DG/0948/2005 de fecha 27 de Julio, en el cual se solicita a ésta Secretaría, información sobre: Superficies, cultivos, láminas de riego, así como la relación de gastos requeridos por los Ejidos: La Yesca, Villa de Seris y La Manga para mantener su nivel actual de superficie cultivable.

Al respecto le informo, que para el Ejido La Yesca se tienen en el padrón 49 derechos con una superficie individual de 8-00-00 Has. y una superficie total de 392-00-00 Has. En la actualidad se siembran 4-00-00 Has. autorizadas y 4-00-00 Has. bajo riesgo del productor, presentándose problemas en los períodos entre uno y otro riego, lo cual sucede cada 40 ó 45 días, debido principalmente al bajo volumen que se recibe en el canal alimentador.

En lo que respecta al Ejido Villa de Seris, la superficie autorizada es de 4-00-00 Has. por derecho con un total de 195 derechos (cada ejidatario fue dotado con 8-00-00 Has.). Con el volumen disponible del canal "El Álamo" y "El Jagüey" se están sembrando alrededor de 970 hectáreas en superficie dominada por dichas aguas, enfrentando el mismo problema del Ejido La Yesca en lo que respecta al suministro de riegos oportunos a los cultivos.

El Ejido La Manga tiene registrados en el padrón de Usuarios de Distrito de Riego de la presa Abelardo L. Rodríguez 52 ejidatarios, para beneficio de 208-00-00 Has. las cuales eran regadas con agua de la presa. El último año que se regó con dichas aguas fue en 1991.

Posteriormente a solicitud del ejido, en el predio "El Chanate" se les construyó un cárcamo de bombeo con el cual se beneficiaban 32 ejidatarios para regar 128-00-00 Has. quedando sin riego 20 integrantes del predio "Los Choros", debido a que su predio no fue dominado por esta fuente de abastecimiento; cabe mencionar que al Ejido se le dotó por la Secretaría de la Reforma Agraria de una ampliación en la que se formaron dos sectores de trabajo, de 32 ejidatarios quedando ubicados en el predio denominado "Los Bagotes".

En el año de 1998 aproximadamente, algunos de estos ejidatarios iniciaron trabajos en dicho predio, el cual se ubica en el Km. 14 de la carretera que conduce a Bahía Kino, con la finalidad de adecuar dichos terrenos y utilizarlos como terrenos agrícolas, siendo regados éstos con aguas residuales. El predio en mención se encuentra fuera de los límites de la Zona de riego de la Presa Abelardo L. Rodríguez, por lo que no se cuenta con información estadística acerca de los cultivos, superficie sembrada, lámina de riego, etc.

[Handwritten signatures]

Actualmente en el predio "El Chanate", de las 128-00-00 hectáreas se siembran, alrededor de 50-00-00 has. las cuales son regadas mediante el cárcamo de bombeo. Algunos de los usuarios de los predios "El Chanate" y "Los Choros" han preferido llevar a cabo sus siembras en el predio "Los Bagotes" ya que así ahorran en el pago de energía eléctrica, reparaciones del equipo electromecánico, pago al operador del cárcamo, etc.

Dentro del Padrón se tiene al Ejido San Miguel, el cual siembra ciclo tras ciclo aproximadamente 100-00-00 hectáreas mediante apoyo de los Ejidos Villa de Seris y La Yesca, los cuales le proporcionan agua al menos para un riego de dicha superficie de aproximadamente 200.0 millares de M³

De igual forma están los pequeños propietarios que en forma de temporal y a riesgo siembran aproximadamente 400-00-00 hectáreas, con lo cual se benefician 35 productores, utilizando alrededor de 800 millares de M³. Cabe mencionar que se atienden solicitudes de suministro de agua para repesos de abrevadero, debiendo consensar por éste Distrito con los Ejidos Villa de Seris y La Yesca para suministrarles la dotación necesaria, la cual es alrededor de 150.0 Millares de M³. dos veces al año.

En lo que se refiere a la operación en la zona de riego, estamos enviando a Usted información estadística de 5 años atrás, superficies, cultivos, láminas, fechas estimadas de riego, planes de riego y gastos. (Para este efecto anexamos cuadros con dicha información); además contiene los derechos ejidales del Padrón de usuarios del Ejido Villa de Seris dominados con aguas residuales manejado por éste Distrito de Riego de la Presa Abelardo L. Rodríguez. Así mismo encontrará plano catastral del Ejido Villa de Seris.

Sin otro particular, esperando que la información enviada sea de utilidad, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE
SUFRAGIO EFECTIVO. NO REELECCIÓN
EL SECRETARIO**

ING. ALEJANDRO ELIAS CALLES GUTIERREZ



**GOBIERNO DEL ESTADO
DE SONORA
SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA,
RECURSOS HIDRAULICOS, PESCA Y ACUACULTURA
Hermosillo, Sonora**

C.c.p. Lic. César Salazar Platt, Subsecretario de Agricultura de la SAGARHPA-Estatal
C.c.p. Ing. Javier Navarro Iñiguez, Director General de Desarrollo Agrícola
C.c.p. Archivo y minutarío

AECG*JNT*ADL*gob

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, RECURSOS HIDRAULICOS, PESCA Y ACUACULTURA
DIRECCION GENERAL DE DESARROLLO AGRICOLA**

CULTIVOS, LÁMINAS Y FECHAS ESTIMADAS DE RIEGO

RIEGOS	TRIGO		RYE GRASS		SORGO FORRAJERO		MAIZ	
	LAMINA (CM)	FECHAS ESTIMADAS DE RIEGOS	LAMINA (CM)	FECHAS ESTIMADAS DE RIEGOS	LAMINA (CM)	FECHAS ESTIMADAS DE RIEGOS	LAMINA (CM)	FECHAS ESTIMADAS DE RIEGOS
R.P.	20.0	20/dic	20	20/oct	20	15/may	20	15/jul
1ro. R.A.	15.0	25/ene	15	05/dic	15	15/jun	15	15/ago
2do. R.A.	15.0	05/mar	15	10/ene	15	10/jul	15	15/sep
3ro. R.A.	10.0	05/abr	10	15/feb	10	05/ago	10	15/oct
4to. R.A.	10.0	05/may	10	20/mar	10	01/sep	10	15/nov
5to. R.A.			10	20/abr	10	01/oct		
6to. R.A.			10	20/may				
TOTAL	70.0		90		80		70	

R.P.: Riego pesado
R.A.: Riego de auxilio

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, RECURSOS HIDRAULICOS,
PESCA Y ACUACULTURA
DIRECCION GENERAL DE DESARROLLO AGRICOLA
PLAN DE RIEGOS Y CULTIVOS EN SUPERFICIE DOMINADA
CON AGUAS RESIDUALES DEL EJIDO VILLA DE SERIS**

CULTIVO	SUPERFICIE (HAS)	LAM. NETA (CMS)	NO. DE RIEGOS	VOL. NETO (MILLARES DE M3)	VOL. BRUTO (MILLARES DE M3)
Trigo	970	70.0	5	6,790	13,580.00
Rye Grass	970	90.0	7	8,730	17,460.00
Maíz	970	70.0	5	6,790	13,580.00
Sorgo forrajero	970	80.0	6	7,760	15,520.00

Volumen promedio requerido: 15,035 millares de m3
Gasto aproximado requerido: 1,006 L.P.S.
Eficiencia de conducción: 50%

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, RECURSOS HIDRAULICOS,
PESCA Y ACUACULTURA
DIRECCION GENERAL DE DESARROLLO AGRICOLA
PLAN DE RIEGOS Y CULTIVOS EN SUPERFICIE DOMINADA
CON AGUAS RESIDUALES DEL EJIDO LA YESCA**

CULTIVO	SUPERFICIE (HAS)	LAM. NETA (CMS)	NO. DE RIEGOS	VOL. NETO (MILLARES DE M3)	VOL. BRUTO (MILLARES DE M3)
Trigo	392	70.0	5	2,744	4,221.00
Rye Grass	392	90.0	7	3,528	5,427.69
Maíz	392	70.0	5	2,744	4,221.54
Sorgo forrajero	392	80.0	6	3,136	4,824.62

Volumen promedio requerido: 4,673.85 millares de m3
Gasto aproximado requerido: 313 L.P.S.
Eficiencia de conducción: 65%

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, RECURSOS HIDRAULICOS,
PESCA Y ACUACULTURA
DIRECCION GENERAL DE DESARROLLO AGRICOLA
PLAN DE RIEGOS Y CULTIVOS EN SUPERFICIE COMPRENDIDA
DENTRO DE LOS LIMITES DE LA ZONA DEL DISTRITO DE RIEGO
PREDIO EL CHANATE Y DOMINADA CON AGUAS RESIDUALES DEL EJIDO LA MANGA**

CULTIVO	SUPERFICIE (HAS)	LAM. NETA (CMS)	NO. DE RIEGOS	VOL. NETO (MILLARES DE M3)	VOL. BRUTO (MILLARES DE M3)
Rye Grass	128	90.0	7	1,152	1,772.31
Sorgo forrajero	128	80.0	6	1,024	1,575.38

Volumen promedio requerido: 1,673.85 millares de m3
Gasto aproximado requerido: 99 L.P.S.
Eficiencia de conducción: 65%

SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, RECURSOS HIDRAULICOS, PESCA
Y ACUACULTURA
DIRECCION GENERAL DE DESARROLLO AGRICOLA

SUPERFICIE Y DERECHOS PERTENECIENTES AL PADRON DE USUARIOS DEL
DISTRITO DE RIEGO DE LA PRESA ABELARDO L. RODRIGUEZ

EJIDO	DERECHOS	SUP/DERECHO (HAS)	TOTAL SUPERFICIE (HAS)
VILLA DE SERIS	195	8	1,560
LA YESCA	49	8	392
LA MANGA	50	8	400
LA MANGA (AMPLIACION LOS BAGOTES)	32	8	256

Septiembre de 2022
(edición impresa)

Noviembre de 2022
(edición electrónica)

Cuidado de la edición:
Martha Ordaz

Imagen de portada:
Fotografía de Miguel Ángel Campuzano Meza

Diseño de portada:
Miguel Ángel Campuzano Meza

Compuedición:
Christophe Barrera Ortega

Corrección de estilo:
Andrea López Monroy

Departamento de Difusión Cultural de
El Colegio de Sonora

