



Manejo sustentable del agua en edificios de Ciudad de México

Autores:

David Morillón Gálvez
María Neftalí Rojas Valencia
Óscar González Barceló
Juan Manuel Morgan Sagastume
Luis Dávalos Nava

Series
**Instituto
de Ingeniería UNAM**
Publicación arbitrada



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM®**

SID 718

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Publicación arbitrada

ISBN: 978-607-642-160-4

DOI:10.22201/ingen.9786076421604e.2025

Manejo sustentable del agua en edificios de Ciudad de México

Sustainable water use and management in Mexico City buildings

David Morillón Gálvez¹

IIUNAM

damg@pumas.ii.unam.mx

María Neftalí Rojas Valencia²

IIUNAM

MRojasV@ingen.unam.mx

Óscar González Barceló³

IIUNAM

OGonzalezB@ingen.unam.mx

Juan Manuel Morgan Sagastume⁴

IIUNAM

JMorganS@ingen.unam.mx

Luis Dávalos Nava⁵

Posgrado en Urbanismo, UNAM

luis.davalos.nava@hotmail.com

Serie de Investigación y Desarrolloa

SID718

Noviembre 2025

¹ Investigador Titular, Instituto de Ingeniería, UNAM

² Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM

³ Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM

⁴ Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM

⁵ Posgrado en Urbanismo, UNAM

Manejo sustentable del agua en edificios de Ciudad de México

Primera edición, 24 de noviembre de 2025

SID 718

D.R.© 2025 Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería, UNAM
Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México

ISBN: 978-607-642-160-4

doi: <https://doi.org/10.22201/iingen.9786076421604e.2025>

La obra fue editada por el Instituto de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de México (IIUNAM). El cuidado de la edición estuvo a cargo de la Unidad de Promoción y Comunicación del IIUNAM. Esta obra está gratuitamente disponible para consulta e impresión, en archivo PDF de 9.1 MB, en la sección de Publicaciones del portal electrónico del IIUNAM, <http://www.iingen.unam.mx>, desde que se terminó de editar.

Términos de licenciamiento Creative Commons para protección de la difusión por terceras personas y derechos de autor de la presente obra: Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional



Agradecimientos

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Ciudad de México (2009)

Víctor Franco, IIUNAM

Adalberto Noyola Robles, IIUNAM

Faustino de Luna Cruz, IIUNAM

Homero Contreras Alonso, Exestudiante, IIUNAM

Mónica Antonio Antonio, PMyDI-UNAM

Beatriz García Villegas, PMyDI-UNAM

Gabriel Sánchez Domínguez, IIUNAM

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Resumen

En este libro se presentan los resultados de un análisis del consumo y uso final del agua en edificios de Ciudad de México. Desarrollado, con base en información proporcionada por el Sistema de Aguas de Ciudad de México, para definir la línea base sobre los actuales consumos de agua por tipo de edificio, usuario o habitante, para cuantificar los ahorros potenciales con el aprovechamiento tanto del uso del agua pluvial como del reúso del agua residual, así como de la tecnología de alta eficiencia o ahorradora. Las tecnologías juegan un papel importante para el ahorro de agua, para el aprovechamiento del agua pluvial, así como para el tratamiento y reúso del agua residual, acompañado de un marco normativo y cultural, mismo que se presenta a manera de catálogo con las tecnologías disponibles en el mercado. Por último, se complementa con una semblanza de las experiencias internacionales en materia de concientización y cambio de la cultura del agua ante un panorama grave sobre la disponibilidad de agua en México y en gran parte del mundo.

Palabras clave: *agua, edificios, ahorro, tratamiento, reúso, Ciudad de México.*

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Abstract

This book presents the results of an analysis of the consumption and final use of water in buildings in Mexico City. Developed, based on information provided by the Mexico City Water System, it defines the baseline of current water consumption by type of building, user, or inhabitant. It also quantifies potential savings through the use of rainwater, wastewater reuse, and high-efficiency or water-saving technologies. Technologies play an important role in water conservation, including the use of rainwater and the treatment and reuse of wastewater, supported by a regulatory and cultural framework, which is also presented. The book includes a catalog of technologies available in the market. Lastly, it provides an overview of international experiences in raising awareness and changing the culture of water usage, addressing the serious outlook on water availability in Mexico and in much of the world.

Keywords: *water, buildings, savings, treatment, reuse, Mexico City.*

Índice

Agradecimientos	iii
Resumen	v
Abstract	vii
Índice	ix
1. Introducción.....	1
1.1. Pagar por el agua que consumimos.....	2
1.2. Reutilizar el agua de lluvia y las aguas grises.....	2
1.3. Reducir las pérdidas.....	3
1.4. Tiempo de actuar.....	3
2. Disponibilidad del agua en Ciudad de México	7
2.1. República Mexicana y Ciudad de México	7
2.2. Región del Valle de México.....	9
2.2.1. Extracción de recurso hídrico	11
2.2.2. Influencia del porcentaje de agua para uso consumtivo respecto a la disponibilidad del total del recurso hídrico.....	13
2.3. Intensidad de uso por actividad económica	15
3. Uso del agua en los edificios de Ciudad de México.....	17
3.1. Usos, consumos y aprovechamiento del agua en los edificios de Ciudad de México	17
3.1.1. Vivienda.....	17
3.1.2. Oficinas.....	19
3.1.3. Hoteles	20
3.1.4. Escuelas primarias	21
3.1.5. Restaurantes.....	21
3.2. Línea base de los consumos de agua por tipo de edificio	22
3.3. Índices de consumo eficiente de agua potable por edificio, aprovechamiento de agua pluvial, reúso y tratamiento de agua residual	23
3.4. Bases técnicas generales de las instalaciones hidrosanitarias	24

4. Manejo sustentable del agua en los edificios.....	27
4.1. Consideraciones	27
4.1.1. Fugas.....	28
4.1.2. Funcionamiento de la red de distribución.....	31
4.1.3. Control de calidad.....	32
4.2. Tecnologías para el ahorro y uso eficiente del agua potable	33
4.2.1. WC de bajo consumo.....	33
4.2.2. Mingitorios	38
4.2.3. WC con segregación de orina	39
4.2.4. Regaderas de gasto controlado	40
4.2.5. Lavadoras de ropa.....	43
4.2.6. Reglamentación en consumos.....	47
4.2.7. Conciencia en el usuario	47
4.2.8. Medición de consumos	48
4.2.9. Macro medición	48
4.2.10. Micro medición.....	49
4.2.11. Metodología.....	50
4.3. Tecnologías para el aprovechamiento del agua pluvial	51
4.3.1. Integración del sistema alternativo para uso de agua de lluvia en edificaciones	52
4.3.2. Elementos del sistema para recuperación de agua de lluvia	55
4.3.3. Panel de control para activar e inactivar válvulas y bombas	61
4.3.4. Variantes para el sistema alternado agua potable-agua de lluvia.....	63
4.3.5. Filtración para pulimento.....	68
4.4. Tecnologías para el aprovechamiento de las aguas residuales.....	71
4.4.1. Características del agua residual	71
4.4.2. Características del agua tratada y aplicaciones de reúso	73
4.4.3. Definición de los niveles de tratamiento dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales	74
4.4.3.1. Tratamiento preliminar	74
4.4.3.2. Tratamiento primario	74
4.4.3.3. Tratamiento secundario.....	75
4.4.3.4. Tratamiento terciario o avanzado.....	75
4.4.3.5. Tratamiento y disposición del lodo.....	75
4.4.3.6. Sistema de control de olores	76
4.5. Procesos más frecuentemente utilizados en los diversos niveles de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales en edificaciones.....	77
4.5.1. Remoción de sólidos suspendidos y sedimentables.....	77
4.5.2. Remoción de materia orgánica biodegradable.....	78
4.5.2.1. Sistemas aerobios.....	78
4.5.2.2. Sistemas anaerobios	79
4.5.3. Procesos acoplados (Anaerobio-aerobio)	80
4.5.4. Remoción de nutrientes	80
4.5.5. Remoción de patógenos	81
4.5.6. Tratamiento del lodo aerobio	81
4.5.7. Procesos aerobios.....	82
4.5.7.1. Lagunas de estabilización aireada.....	83
4.5.7.2. Proceso de lodos activados	83
4.5.7.3. Filtros percoladores.....	84
4.5.7.4. Sistema de discos biológicos rotatorios	85

4.5.7.5. Filtro sumergido aerobio (FSA)	85
4.5.8. Procesos anaerobios.....	85
4.5.8.1. Fosa séptica.....	86
4.5.8.2. Tanque Imhoff	87
4.5.8.3. Lagunas anaerobias.....	88
4.5.8.4. Digestor anaerobio convencional.....	88
4.5.8.5. Reactor de contacto anaerobio	88
4.5.8.6. Filtro anaerobio.....	88
4.5.8.7. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente.....	88
4.5.8.8. Reactores de lecho expandido o fluidificado	89
4.5.9. Sistema Natural Construido tipo “Wetland”	89
4.5.10. Biofiltro para el control de olores	91
4.5.11. Tratamiento in situ de aguas residuales en edificaciones.....	92
4.5.12. Plantas de tratamiento (PTAR) in situ de aguas residuales	94
4.6. Recomendaciones para configurar los trenes de tratamiento de aguas residuales para edificaciones con caudales bajos.....	95
4.6.1. Tratamiento preliminar	95
4.6.2. Tratamiento primario	95
4.6.3. Tratamiento secundario	95
4.6.4. Tratamiento terciario	95
4.6.5. Tratamiento de los lodos generados.....	96
4.6.6. Control de olores.....	96
4.6.7. Generación de ruido.....	96
4.7. Variables a considerar para la selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales.....	96
4.7.1. Reúso o disposición final del agua tratada.....	97
4.7.2. Método o disposición de residuos del procedimiento.....	97
4.7.3. Condiciones ambientales	97
4.7.4. Costos de inversión y operación	97
4.7.5. Procesos generales recomendados	98
4.7.6. Preguntas frecuentes	101
4.8. Especificaciones técnicas de sistemas, equipos, aditamentos o accesorios	103
4.9. Especificaciones técnicas de instalación y conservación de los equipos, con base en la información del fabricante y cumplimiento de la normatividad.....	104
4.10. Datos técnicos complementarios.....	104
5. Referencias.....	105

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

1. Introducción

La demanda de agua, se da principalmente en los edificios y en las áreas públicas (limpieza de las calles, fuentes, ornamentación, riego de parques y jardines), en la agricultura y ganadería, así como en los sectores energético, industrial, deportivo, de ocio, etc. La mayor parte del agua se destina al uso agropecuario, seguido por el uso para abastecimiento público en las zonas urbanas.

El crecimiento demográfico, la urbanización y el desarrollo económico están provocando un incremento de la demanda de agua dulce en las zonas urbanas del mundo. Simultáneamente, el cambio climático y la contaminación inciden en el volumen de agua a disposición de los ciudadanos. ¿Cómo pueden las ciudades seguir abasteciendo de agua dulce y potable a sus habitantes?

En 2011, las intensas lluvias inundaron la ciudad de Copenhague; en 2013 tocó a La Plata, Argentina; en 2022 a Ciudad de México, etc. Los sistemas de drenaje urbano no lograron gestionar las precipitaciones que llegaron a alcanzar una intensidad de hasta 135 mm en dos horas. No acabaron ahí los problemas para las ciudades. Tras los aluviones, las reparaciones en los conductos hídricos provocaron la presencia de contaminantes en el agua potable durante semanas. En otras ciudades se registraron problemas hídricos similares.

Más de tres cuartas partes de los ciudadanos del mundo habitan en zonas urbanas y dependen del suministro de agua. Una quinta parte del total de agua dulce extraída en Europa abastece los sistemas hídricos públicos, se trata de agua suministrada a: los hogares, las pequeñas empresas, los hoteles, las oficinas, los hospitales, las escuelas y determinadas industrias.

Garantizar el suministro permanente de agua limpia a los ciudadanos no es tarea fácil. El régimen hídrico debe atender a muchos factores, entre ellos, la población y el tamaño del núcleo familiar; los cambios experimentados en las características físicas de las superficies terrestres; las pautas de comportamiento de los consumidores; las demandas de determinados sectores económicos (caso por ejemplo de las actividades turísticas); la composición química del agua, así como la logística de su almacenamiento y transporte. Asimismo, han de tenerse en cuenta los problemas ligados al cambio climático que pueden incluir inundaciones inesperadas, olas de calor y períodos de escasez, como en los últimos años en España y Chile.

Para prevenir crisis hídricas en las ciudades, es preciso gestionar eficazmente los recursos hídricos en cada una de las fases: desde el suministro de agua limpia hasta los diferentes usos por parte de los consumidores. Ello podría suponer tanto una reducción del consumo como nuevos métodos de recolección y utilización del agua. A su vez, la gestión hídrica debería integrarse mejor en la gestión urbana a mayor escala, teniendo en cuenta las características del entorno local.

1.1. Pagar por el agua que consumimos

Está demostrado que sólo a través de los progresos tecnológicos y los nuevos sistemas tarifarios, ya es posible reducir significativamente el consumo de agua en los hogares, que ronda entre 60 y 80 % del suministro público de agua en ciudades de Europa. Las mejoras tecnológicas introducidas en los electrodomésticos, como por ejemplo las lavadoras y los lavavajillas, han contribuido a reducir el consumo de agua sin requerir un cambio de conducta o una especial concienciación en materias relacionadas con el agua.

Además, es posible obtener mejoras más significativas modificando las modalidades de utilización del agua para la higiene personal, que actualmente equivale a 60 % del consumo de agua en los hogares. Por ejemplo, los dispositivos para ahorrar agua en las cisternas de los inodoros constituyen un método económico y sencillo que permite reducir un litro por descarga. También, pequeños ajustes en las regaderas o duchas, por ejemplo, la ventilación del flujo de agua permite obtener ahorros hídricos.

Como establecen algunas dependencias del mundo, vincular el precio del agua al volumen de agua consumida puede constituir un incentivo para un uso más sustentable del agua. En Inglaterra y Gales, los residentes en casas con contador consumen 13 % menos que los habitantes de casas sin contador.

1.2. Reutilizar el agua de lluvia y las aguas grises

Sólo 20 % del agua utilizada por los distintos sectores que reciben suministro público se consume realmente. El restante 80 % vuelve al medio ambiente, principalmente en forma de aguas residuales depuradas. Las superficies urbanas pavimentadas y selladas suelen dirigir el agua de lluvia hacia las redes de alcantarillado donde se mezcla con las aguas residuales. Esto impide que las precipitaciones se infiltrén en el suelo y se integren en nuestras reservas de agua subterránea utilizables en un futuro. Las escorrentías y las aguas residuales a menudo pasan por depuradoras de agua antes de ser devueltas a los ríos, por lo general, lejos de las ciudades. Bastarían algunos cambios en los sistemas hídricos urbanos para que tanto el agua de lluvia como las aguas residuales tratadas pudieran ser devueltas a los consumidores de agua en las ciudades.

Uno de estos cambios es la reutilización de las aguas grises. Se entiende por aguas grises todas las aguas residuales domésticas no originadas en los WC, como el agua de bañeras, duchas, lavabos y

cocinas. Esta agua puede ser tratada directamente sobre el terreno y destinarse a fines que no exijan agua potable, por ejemplo, para las cisternas de los WC.

En las ciudades también sería posible recoger en tanques el agua tanto de canalones como de cunetas y reutilizarla para usos que no precisan de agua potable, como las cisternas de los WC por gravedad con consumo de $\frac{1}{2}$ L por descarga, el lavado de automóviles o la jardinería. Asimismo, podría destinarse directamente a realimentar aguas subterráneas. Sistemas para el uso eficiente de agua y el tratamiento pueden ser instalados en hogares o empresas. Sin embargo, aún cabe adoptar otras medidas para mejorar el suministro hídrico antes de que llegue a los hogares, pero no introducir en la vivienda dos redes de agua, residual y potable, por los riesgos a la salud pública que presenta.

Mantener el agua dentro de la ciudad, permitiendo que se infiltre en el suelo y se acumule en las masas hídricas presenta muchas ventajas, por ejemplo, un espacio recreativo para los residentes locales y un efecto refrigerante durante las olas de calor.

1.3. Reducir las pérdidas

Las pérdidas de agua provocadas por fugas pueden ser considerables; en Croacia, casi 40 % del suministro total de agua se pierde en la red de transporte hídrico. Las fugas pueden prevenirse mediante el mantenimiento y la renovación de la red hídrica, así como mediante el uso de nuevas tecnologías. Tales tecnologías pueden incluir sensores que reconocen y localizan el ruido de una fuga o dispositivos a modo de señales de radio que detectan la presencia de agua corriente. Con la aplicación de este tipo de tecnologías, los sistemas públicos de agua ya no tendrían que hacer frente a la carga adicional que suponen las pérdidas de agua provocadas por fugas cuando satisfacen la demanda de agua con un suministro limitado. Sin embargo, renovar las redes de distribución de agua podría exigir importantes inversiones en infraestructuras.

1.4. Tiempo de actuar

Lograr una utilización más sustentable del suministro público de agua en las ciudades exige no únicamente aplicar medidas como las descritas anteriormente, sino también, sensibilizar a la población sobre la necesidad de ahorrar agua.

Son varios los métodos disponibles para informar a los consumidores domésticos, empresariales y turísticos, como páginas web, programas de educación escolar, folletos de autoridades locales y medios de comunicación de masas. El etiquetado ecológico de los electrodomésticos y la certificación ecológica de los hoteles, pueden jugar un papel determinante a la hora de concienciar a los consumidores y ayudarles a tomar decisiones bien informadas que favorezcan tanto un consumo más eficiente como un ahorro de agua.

No será posible lograr un consumo realmente sostenible de los recursos hídricos sin unas mejoras adicionales en la sustentabilidad del consumo de agua en los edificios de la Ciudad.

La gran paradoja que vive Ciudad de México es que le sobra y falta el agua al mismo tiempo. Esto tiene que ver con el hecho de que la disponibilidad hídrica actual es artificial: constantemente son expulsadas de la Cuenca del Valle de México las aguas pluviales y residuales de la ciudad, simultáneamente, son importadas aguas provenientes de dos cuencas vecinas.

La expulsión y la extracción del agua –hechas por más de cuatro siglos– propiciaron que la disponibilidad de la Cuenca del Valle de México disminuyera considerablemente en comparación con la del resto de las cuencas de la república. Por tanto, la escasez del recurso, más que natural o producto de la gestión que se le ha dado, es resultado de la desecación histórica del subsuelo.

El volumen anual del agua dulce por habitante es un parámetro que permite hacer evaluaciones sobre la magnitud del problema. En la Tabla 1.1 se presenta la disponibilidad porcentual del agua en el mundo.

Tabla 1.1. Disponibilidad del agua en el mundo

Categoría	Disponibilidad (m ³ /hab/año)	Países en el mundo (%)
Muy baja	< 1,000	16
Baja	1,000 a 5,000	35
Mediana	5,000 a 10,000	14
Alta	más de 10,000	35

Fuente: CONAGUA, 2004.

Los datos anteriores indican que la mitad de los habitantes del planeta tienen problemas de abasto por baja disponibilidad; es decir, existen comunidades que antes de evaluar posibles inversiones, tienen que preocuparse por contar con el recurso.

México es un país que ha cruzado el umbral entre la disponibilidad de media a baja, ya que figura entre las naciones que disponen de menos de 5 mil m³ de agua anuales por habitante; además, debe considerarse la irregular distribución regional y temporal del recurso, así como la reducción del volumen por agua contaminada. En la Figura 1.1 se contrastan los volúmenes disponibles en el país, ubicando en Ciudad de México entre las regiones de extremadamente baja disponibilidad de agua (menor a 1 000 m³/hab⁶).

⁶ La clasificación de disponibilidad está de acuerdo con World Resources Institute.

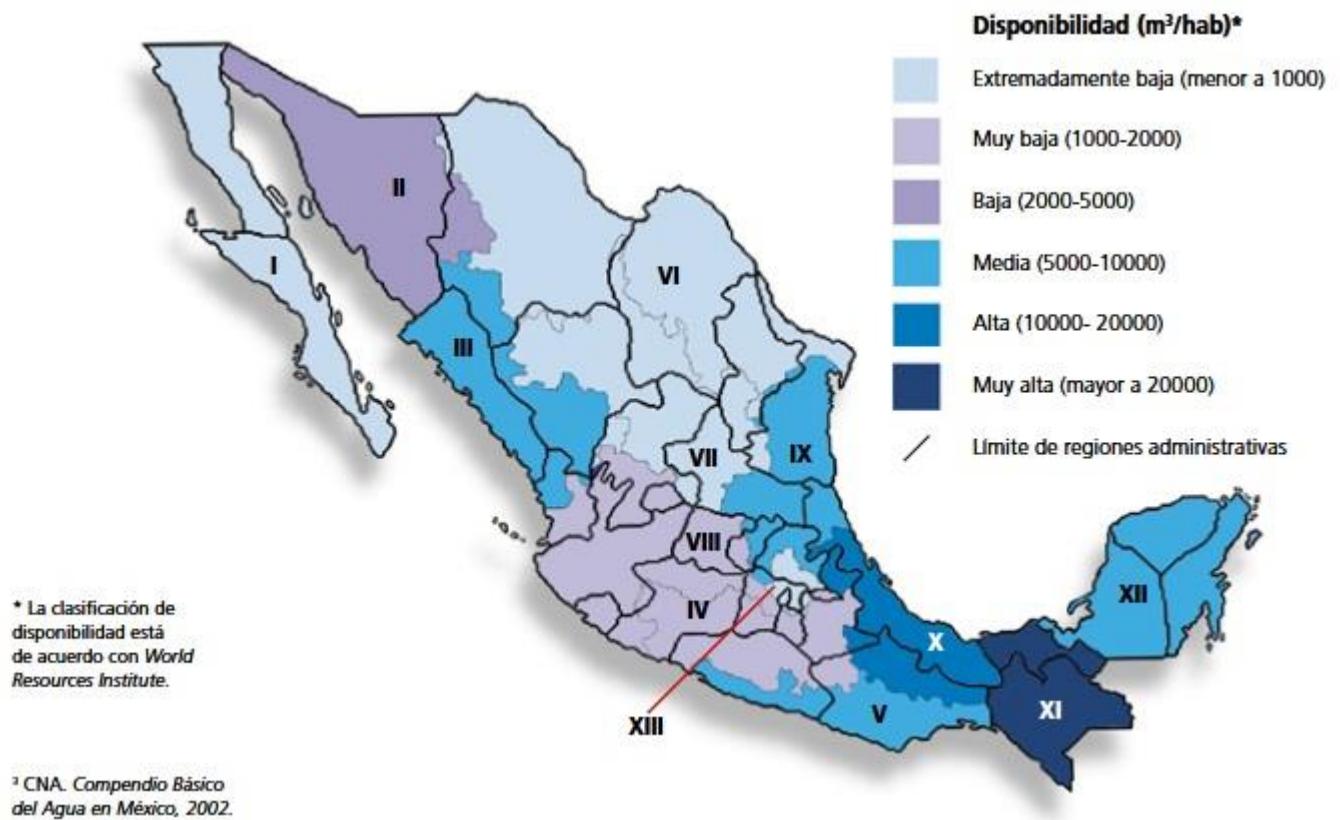


Figura 1.1 Disponibilidad natural media per cápita de agua en el país. *Fuente:* CONAGUA, 2013

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

2. Disponibilidad del agua en Ciudad de México

2.1. República Mexicana y Ciudad de México

Como se observó anteriormente, la disponibilidad del agua en Ciudad de México es un problema, la presión se presenta cada año (Figura 2.1), si se considera un escenario para 2030, con base en el crecimiento poblacional y del PIB (Figura 2.2) se presentarán problemas en los estados vecinos, donde se toma actualmente el agua, agregando el efecto del cambio climático (Figura 2.3), los problemas podrían ser sociales no sólo internos de la ciudad, sino civiles con enfrentamientos entre los estados vecinos.

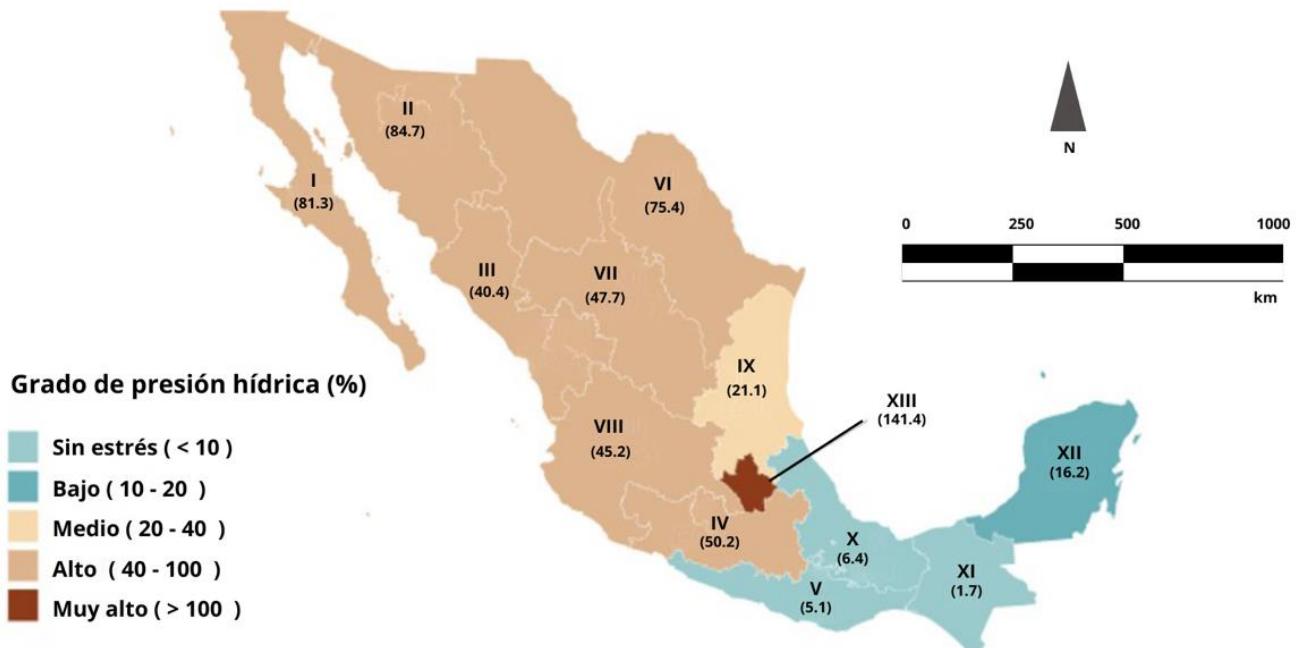


Figura 2.1 Grado de presión sobre los recursos hídricos en el país. *Fuente: CONAGUA, 2013*

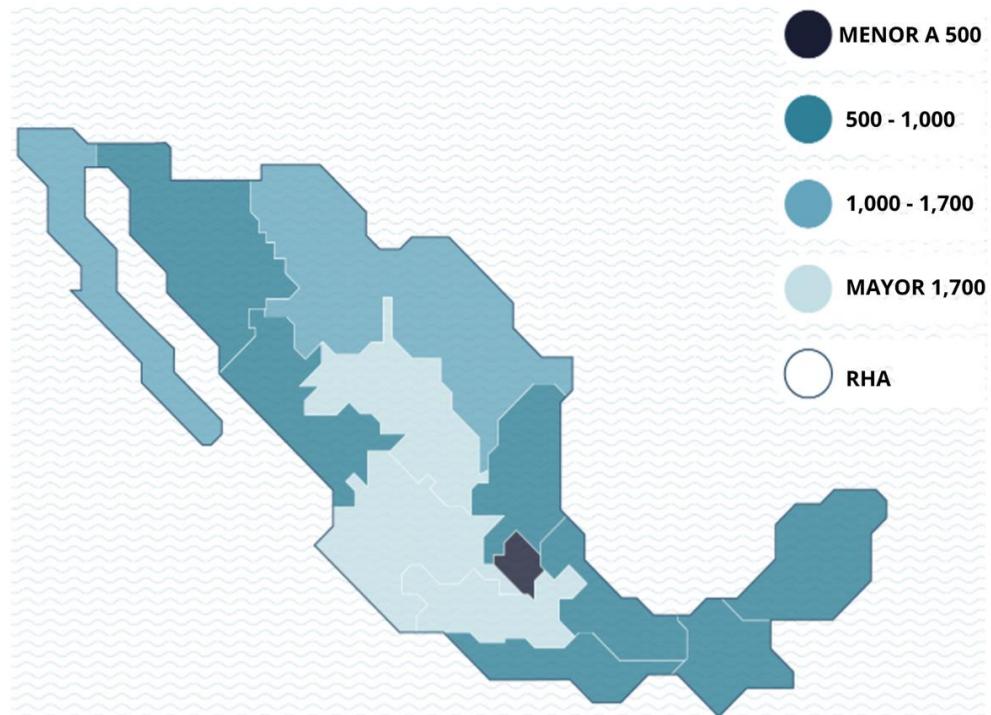


Figura 2.2 Regiones con mayor y menor disponibilidad del recurso del agua a 2030 ($\text{m}^3/\text{hab/año}$), considerando las tendencias en población y PIB. *Fuente: Forbes con base en CONACPO 2012*

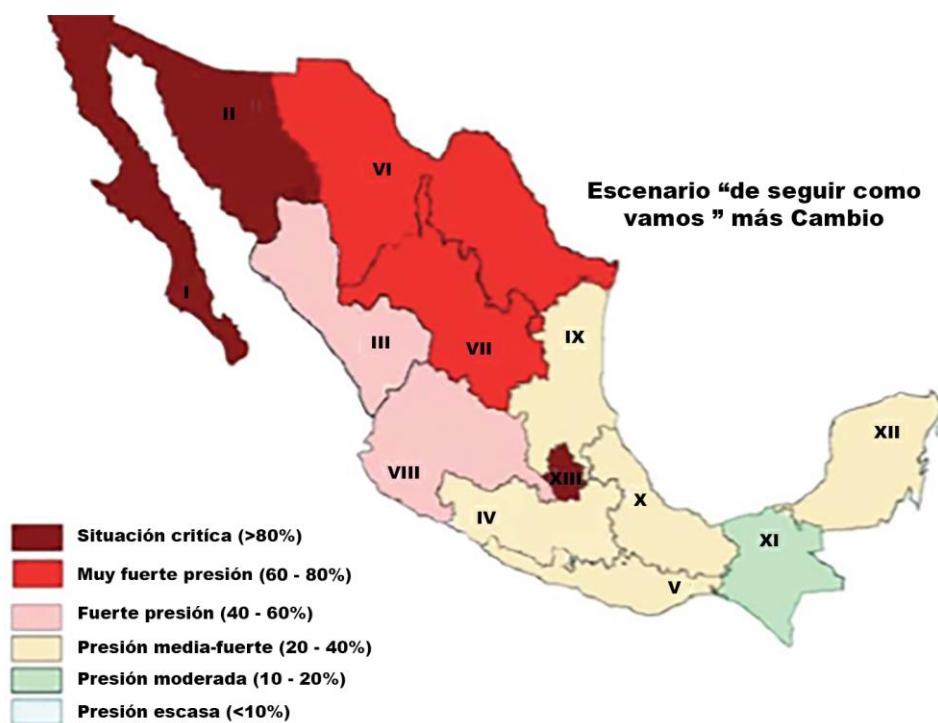


Figura 2.3 Escenario de grado de presión sobre el recurso agua a 2030, considerando los escenarios de cambio climático. *Fuente: CONAFOVI, 2005*

2.2. Región del Valle de México

En la región del Valle de México se necesita, en gran medida, del recurso hídrico subterráneo; el caudal de agua superficial aprovechado actualmente representa una mínima parte del total para los distintos usos consuntivos de la región (González, 2016a). La región se integra por cinco cuencas asociadas por el sistema de lagos, casi extintos. La necesidad de extracción de agua subterránea refleja el derroche de las aguas superficiales de las cuencas (Figura 2.4). En total de disponibilidad anual en la región integrada por las cinco cuencas del lago del Valle de México, se localizan distancias superiores a los 2 km³ de agua en el último trienio a partir de 2021 (Dávalos, 2021). Las fuentes de suministro de agua dulce para numerosos usos humanos se catalogan en dos grupos: superficial (Figura 2.5) y subterránea. Del consumo anual de 2,224.89 hm³, más de 85 % de agua dulce emana de nacimientos subterráneos (Dávalos, 2021).

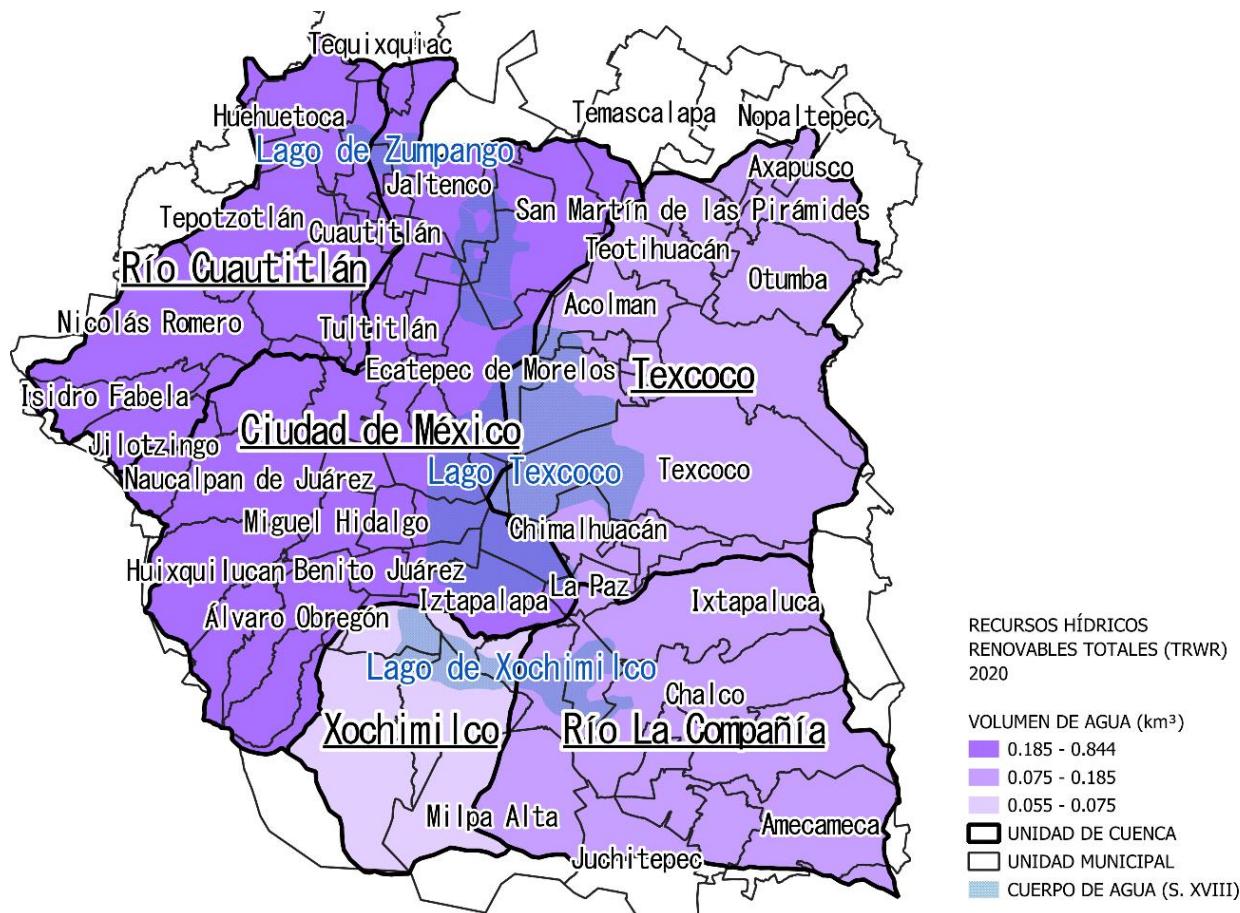


Figura 2.4 Recursos hídricos renovables totales por cuenca en el Valle de México, 2020. *Fuente: elaboración propia con datos de: CONAGUA, 2021, Stangl, 2019, INEGI. Citado por Dávalos, 2021*

En la Figura 2.6, se muestran los recursos hídricos disponibles en la zona del Valle de México 2014-2020; se ve cómo la curva sube y se queda asintótica entre el 1.25 y 1.26 km³

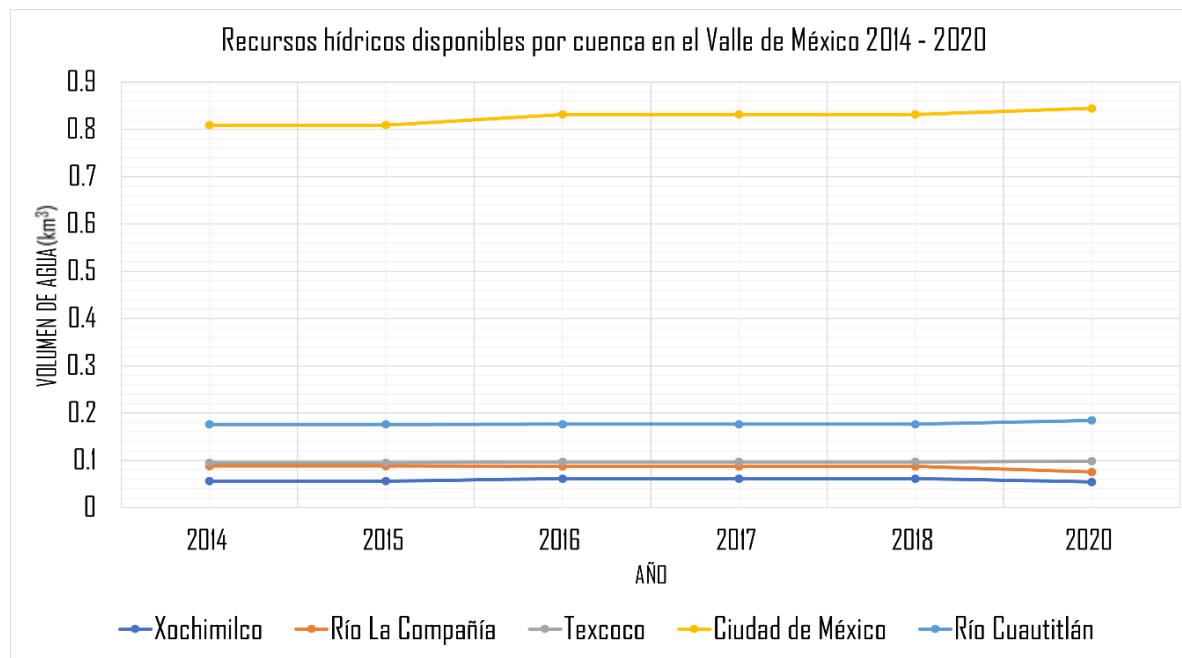


Figura 2.5 Recursos hídricos aprovechables por cuenca en el Valle de México 2014-2020. Fuente: elaboración propia con datos de SINA, citado por Dávalos, 2021

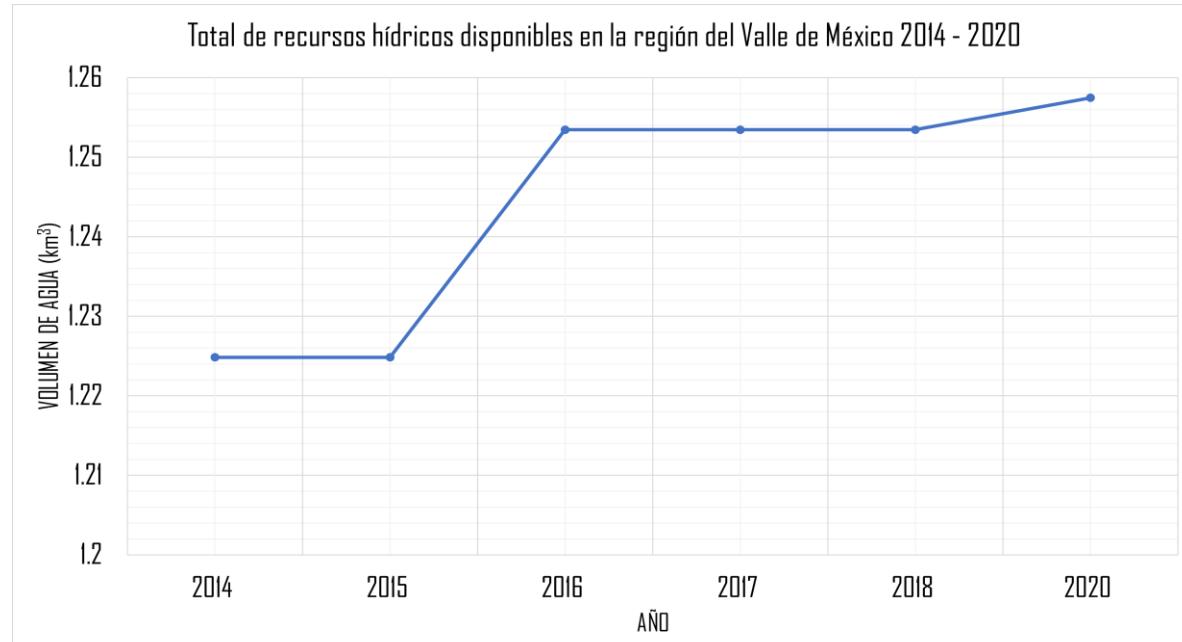


Figura 2.6 Recursos hídricos disponibles en la región del Valle de México 2014-2020. Fuente: elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) (citado por Dávalos, 2021)

2.2.1. Extracción de recurso hídrico

En 2019, en la zona del Valle de México integrada por cinco cuencas, se extraía un volumen por año de agua para usos consumtivos de 2.222 km^3 , permaneciendo la cuenca con mayor porcentaje de uso de Ciudad de México.

La extracción de recursos hídricos para uso consumutivo en la región varía entre 2.6 a 2.2 km^3 anualmente. En el mapa de la Figura 2.7 se muestra el retiro total de agua dulce (TFWW) por cuenca en el Valle de México, 2019. Se puede observar una disminución considerable en el volumen de agua dulce utilizados en distintos sectores. Este comportamiento a la baja genera el cuestionamiento sobre qué acciones influyeron en la baja en las extracciones (ver Figuras 2.8 y 2.9).

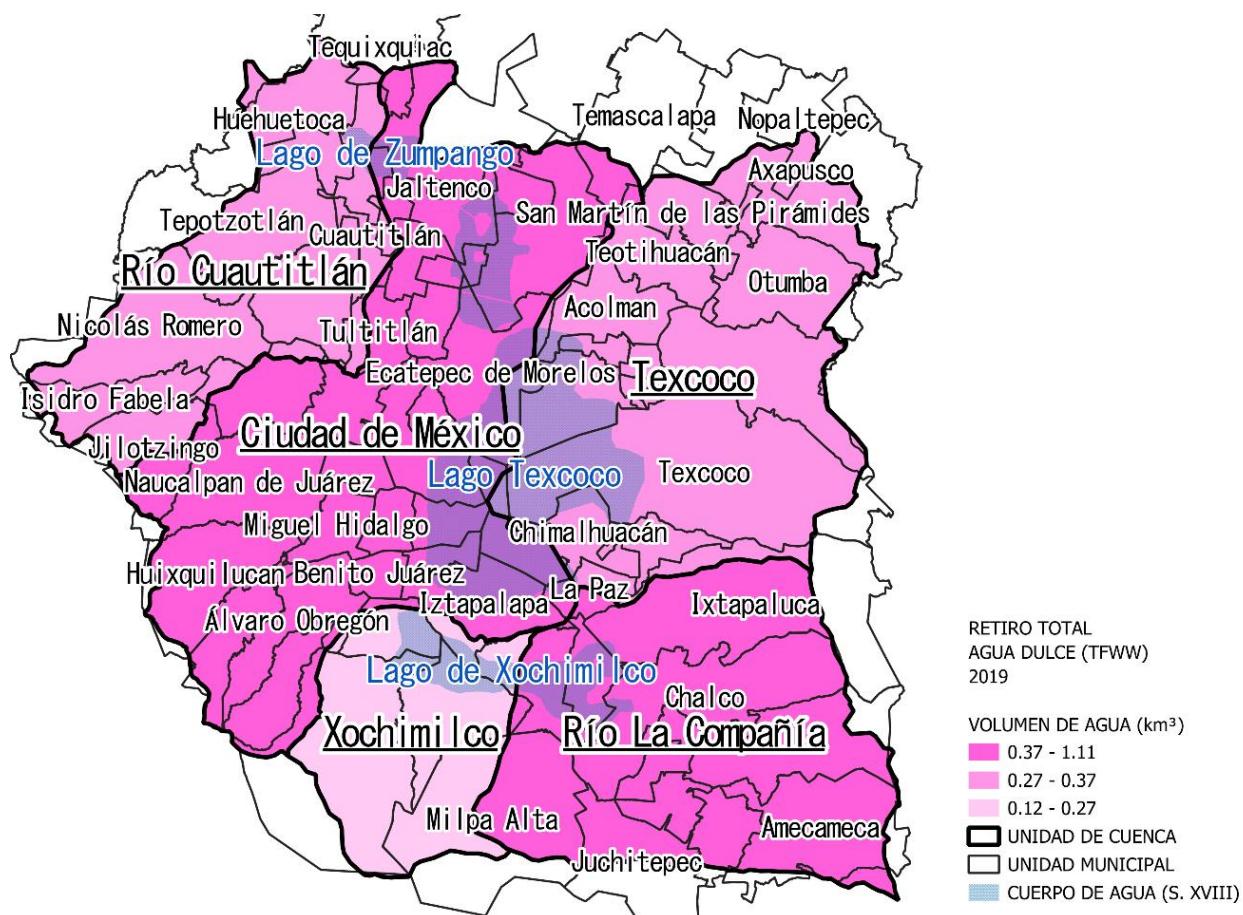


Figura 2.7 Retiro total de agua dulce por cuenca en el Valle de México, 2019. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2021, Stangl, 2019, INEGI (Citado por Dávalos, 2021)

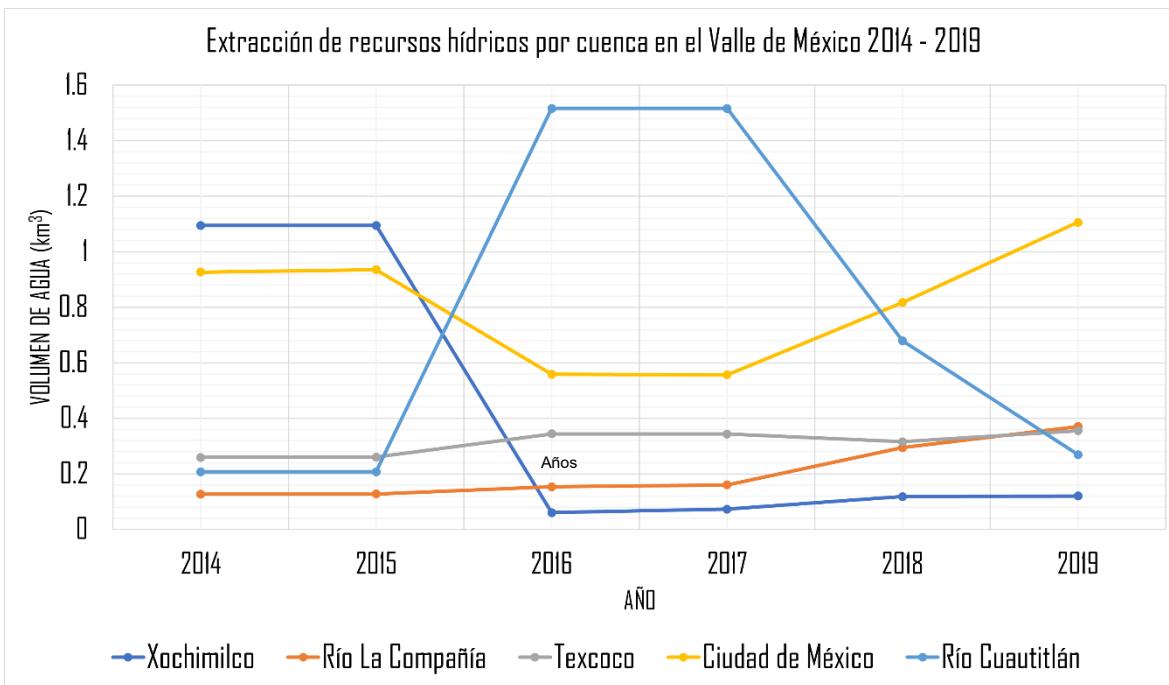


Figura 2.8 Extracción de recursos hídricos por cuenca en el Valle de México 2014-2019. *Fuente: elaboración propia con datos de SINA (Citado por Dávalos, 2021)*

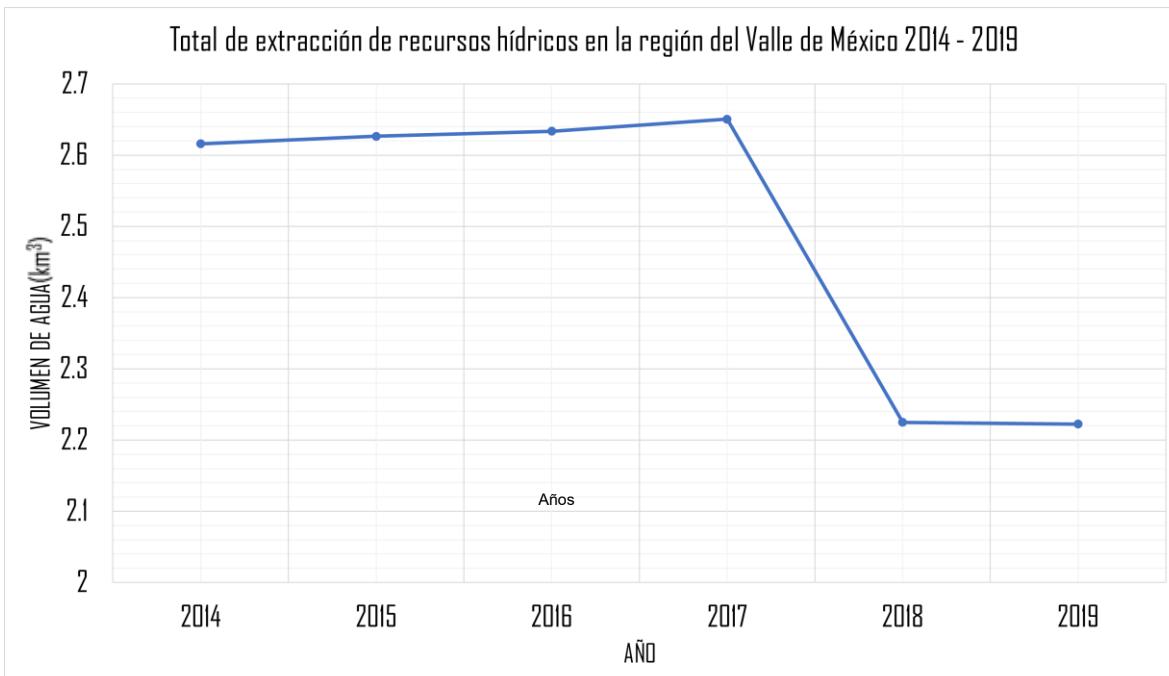


Figura 2.9 Extracción total de recursos hídricos en la región del Valle de México 2014-2019. *Fuente: Elaboración propia con datos de SINA (Citado por Dávalos, 2021)*

2.2.2. Influencia del porcentaje de agua para uso consuntivo respecto a la disponibilidad del total del recurso hídrico

Existe una aceptación internacional que define el indicador que calcula el estrés hídrico; en México, el grado de influencia sobre el recurso se define como “el porcentaje de agua para uso consuntivo respecto a la disponibilidad total (CNA, 2019a, citado por Dávalos, 2021)” un porcentaje \geq a 40 % indica un estrés alto; México posee un porcentaje de amenaza hídrica de entre 19 y 21 % (CNA, 2018, citado por Dávalos, 2021). A pesar de los altos números en los datos compilados para la cuenca de Ciudad de México, basados en el patrón aplicado de estrés hídrico (FAO, 2018a), resulta ser la que presenta menos estrés hídrico, es la que más extrae agua, pero también, es la que mayor disponibilidad de agua tiene. El estrés hídrico en la región del Valle de México es crítico.

Incorporado y por separado, las cinco cuencas delimitadas para el análisis de la zona del Valle de México se encuentran por arriba de 100 % de influencia sobre el recurso hídrico (ver Figuras 2.10 y 2.11).

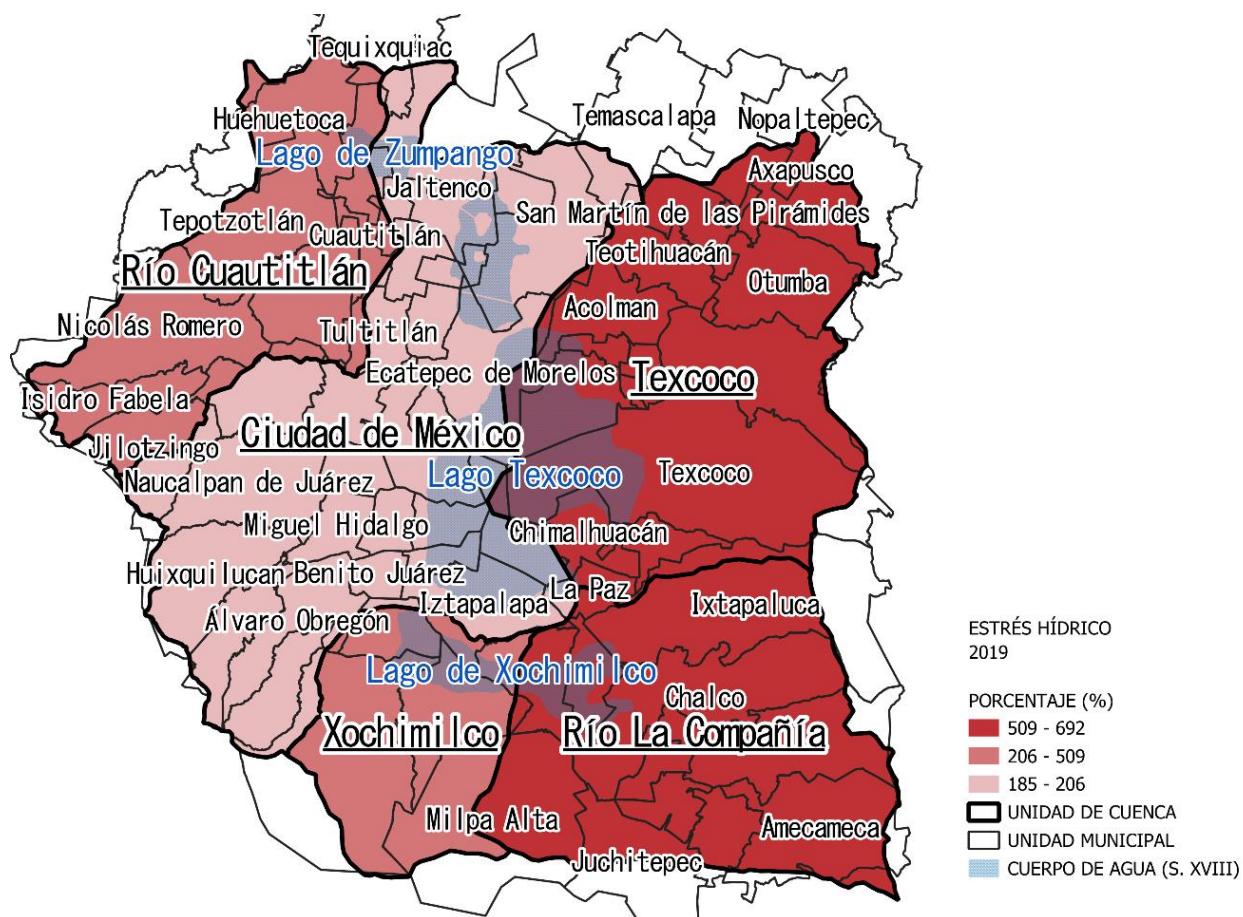


Figura 2.10 Estrés hídrico por cuenca en el Valle de México, 2019. Fuente: Elaboración propia con datos de: CONAGUA, 2021, Stangl, 2019 e INEGI (Citado por Dávalos, 2021)

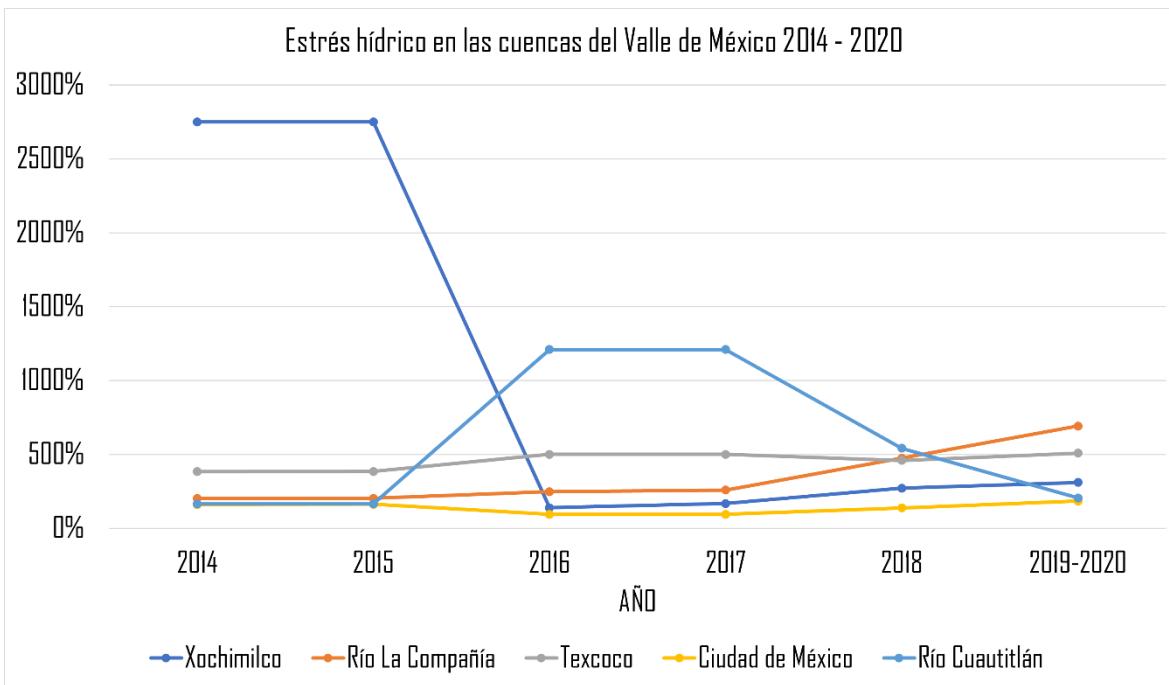


Figura 2.11 Estrés hídrico en las cuencas del Valle de México 2014-2020. Fuente: elaboración propia con datos de SINA (Citado por Dávalos, 2021)

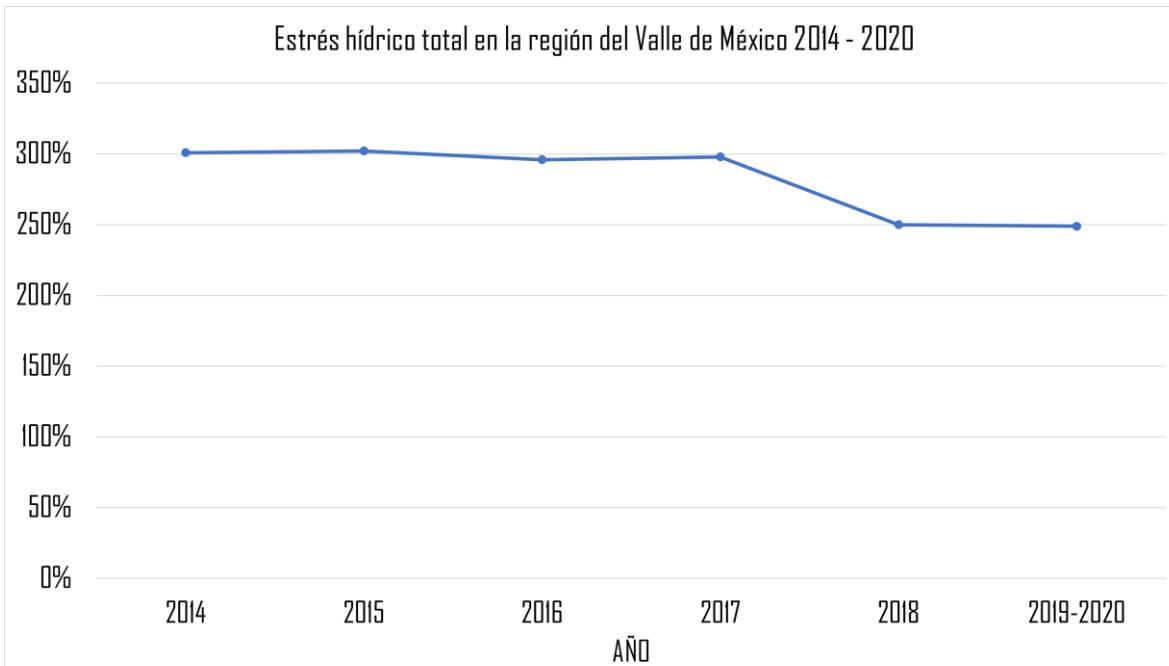


Figura 2.12 Estrés hídrico total en la región del Valle de México 2014-2020. Fuente: elaboración propia con datos de (SINA, Citado por Dávalos, 2021)

Cabe resaltar que, en 2014, la cuenca con \geq estrés hídrico rebasaba 2,500 %, comparable a los rangos presentados en los países de África del Norte y Medio Oriente, regiones con una escasa disponibilidad hídrica. En el último lapso, la transición de estrés hídrico en las cuencas del Valle de México es de entre 300 a 250 % hacia la baja; en corto plazo la influencia sobre el recurso hídrico ha bajado a un ritmo relativamente lento. La zona presentaba en 2014 un nivel de 301 %, el cual, ha ido a la baja lentamente hasta un nivel de 249 % en el último año asentado; esto implica una baja de cerca de 50 puntos en un periodo corto (ver Figura 2.12). En 2020 todas las cuencas que ordenan el territorio del Valle de México excedían 100 % de los niveles de estrés hídrico. La que menos estrés presenta es la de Ciudad de México con 200 % (Figura 2.11).

2.3. Intensidad de uso por actividad económica

Según la Comisión Nacional del Agua, en México, a través del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), 60 % para los distintos usos procedían de orígenes superficiales como ríos, arroyos, lagos y presas; más de 75 % es consignado para el uso agrícola (CNA, 2018, citado por Dávalos, 2021). En México, el volumen concedido por uso consumutivo agrícola es de 75.7 % y su origen preponderante es el agua superficial, utilizando 63.4 %, el porcentaje empleado de agua subterránea para la agricultura es considerablemente más bajo (CNA, 2018, citado por Dávalos, 2021). En la zona del Valle de México, se prioriza el uso de agua para el suministro público (ver Figura 2.13).

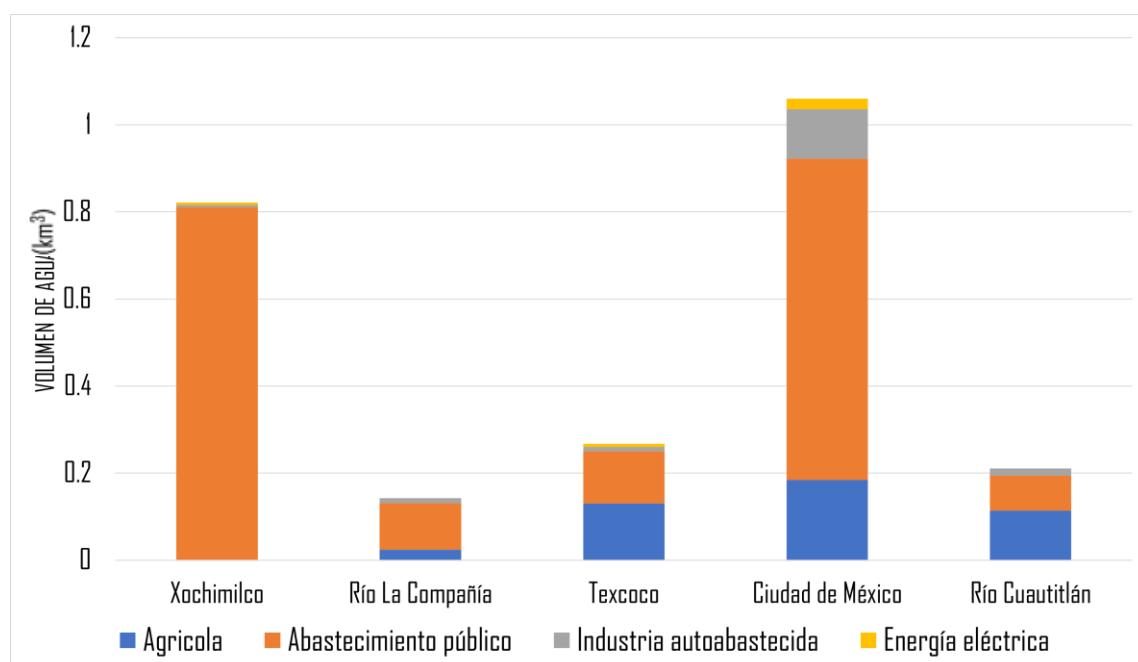


Figura 2.13 Intensidad de recurso hídrico por uso consumutivo por cuenca 2014-2019. Fuente: elaboración propia con datos de: SINA (citado por Dávalos, 2021)

Por suministro público se entiende toda el agua transmitida por las redes de agua potable a usuarios del sector doméstico, industrial y servicios conectados a las redes, cuyo origen es la subterránea, 56.7 % del volumen de agua es utilizado para este tipo de uso (CNA, 2018, citado por Dávalos, 2021). La industria a nivel nacional hace un uso menor del agua en comparación con otras actividades, como la agricultura o el abasto público. A pesar de la capacidad de producción de energía, el agua utilizada para ello es poca en la zona del Valle de México (Figura 2.14); el volumen extraído se encuentra como el más bajo del total de los cuatro usos señalados. Se puede concluir que la generación de energía eléctrica extrae poco recurso hídrico.

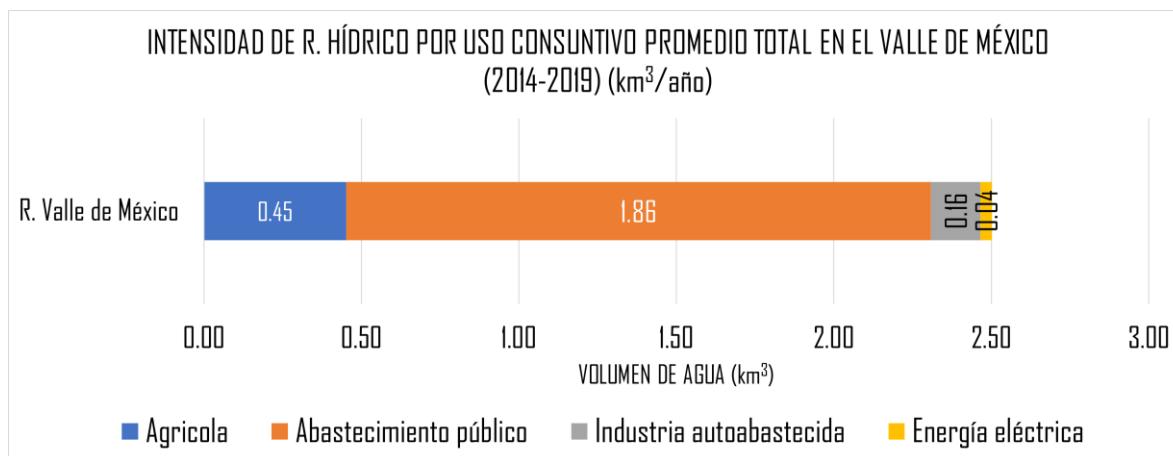


Figura 2.14 Intensidad de recurso hídrico por uso consuntivo promedio en la zona 2014-2019. *Fuente: elaboración propia con datos de SINA (CONAGUA, s.f.)*

3. Uso del agua en los edificios de Ciudad de México

3.1. Usos, consumos y aprovechamiento del agua en los edificios de Ciudad de México

Considerando la clasificación del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Arnal y Betancourt, 2005) se presenta en la Tabla 3.1 los edificios tipo seleccionados para el análisis.

Tabla 3.1 Tipos de edificios por analizar el consumo de agua en la Ciudad de México

Vivienda
Oficinas
Hoteles
Restaurantes
Escuelas

3.1.1. Vivienda

En la Tabla 3.2 se muestra el consumo final de agua en la vivienda (4 habitantes), actualizado por Ochoa *et al.* (1993) y CONAFOVI (2005), en función de climas en el país.

Tabla 3.2 Consumo mensual por tipo de vivienda adaptado para cuatro habitantes

Clima	Vivienda (cuatro habitantes)		
	Popular (m ³)	Media (m ³)	Residencial (m ³)
Cálido mayor a 22°C	22.9	28.5	49.6
Semicálido de 18 a 22°C	16.1	25.4	37.2
Templado de 12 a 17.9 °C y frío menor a 12°C	12.4	24.2	31.0

Adaptado de: CONAFOVI (2005) y Ochoa *et al.* (1993).

Con la nueva cultura de ahorro de agua y las tecnologías ahorradoras, los consumos de agua estimados para dotación de diseño han llegado a ser más equitativas, como lo muestra la Tabla 3.3, del Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (CONAGUA, MAPAS-libro 4), donde se muestran los promedios por toma domiciliaria.

Tabla 3.3 Promedio del consumo de agua por toma domiciliaria en viviendas del país

Clima	Nivel socioeconómico		
	Bajo	Medio (m ³ /toma/mes)	Alto
Cálido	24	25	28
Semicálido	20	23	26
Seco o muy seco	22	22	22
Templado y frío	15	16	14

Fuente: Adaptado de CONAGUA (MAPAS-Libro 4) y CIDE (2012).

En Ciudad de México el clima es templado, donde los veranos presentan buena cantidad de lluvia, mientras que los inviernos presentan muy poca (la temperatura promedio 16.0°C con precipitaciones promedio 1058 mm de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen-Geiger, es posible identificar el clima en CDMX como cwb (c: templado, w: invierno seco-sin lluvias; y b: verano suave-con lluvias).

Considerando los datos de clima templado en la Tabla 3.4 para Ciudad de México, los promedios de consumo final de agua potable por actividad o uso y por vivienda, se presentan en la Tabla 3.4, donde el porcentaje de consumo por uso se determinó de CONAFOVI (2005) y CONAGUA (MAPAS-Libro 4); que al multiplicarlo por el consumo por toma y por mes de la Tabla 3.3 se obtienen los consumos mensuales por uso en la vivienda. Los ahorros corresponden a: a) el uso de inodoros con descargas parciales (duales), no tradicionales con una descarga; b) lavadoras de ropa de tambor en lugar de agitador vertical y c) regaderas ecológicas no convencionales.

Tabla 3.4 Consumo final mensual de agua por uso en vivienda

Uso	% del consumo total ¹	Tecnología convencional		
		Popular	Media (m ³ / uso /mes)	Residencial
Inodoro	40	6.00	6.40	5.60
Cocina	10	1.50	1.60	1.40
Lavado de ropa	15	2.25	2.40	2.10
Riego	10	1.50	1.60	1.40
Regadera y lavabo	25	3.75	4.00	3.50
Acumulado	100	15	16	14

¹Adaptado de CONAFOVI (2005) y Libro 4 de MAPAS-CONAGUA (2015a).

3.1.2. Oficinas

En la Tabla 3.5 se esquematiza la obtención del ahorro potencial de agua en muebles sanitarios y servicios de limpieza para oficinas de 100 usuarios con distribución hombres-mujeres de 50 % - 50 %, bajo las siguientes consideraciones técnicas:

- de proveedores o dependencias normativas se obtienen los consumos de los muebles sanitarios con y sin ahorro de agua;
- un tercio de los hombres usan el inodoro;
- se calcula el consumo diario por servicios acumulados de muebles sanitarios;
- la sumatoria de consumo diario por mueble arroja el acumulado diario para el edificio y al multiplicarlo por días del mes, arroja el acumulado mensual con y sin tecnologías ahorradoras;
- la diferencia corresponde al ahorro potencial en caso de optar por tecnología convencional a una ahoradora de agua;
- finalmente, es importante tener en cuenta para el diseño la dotación mínima que marcan las Normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el Distrito Federal (Arnal y Betancourt, 2005).

Tabla 3.5 Consumo final mensual de agua en las oficinas (100 usuarios diarios)

CASO:	USO FINAL DE AGUA POTABLE EN OFICINAS									
	Usuarios diarios ⁵ : 100			Mujeres: 50			Hombres: 50			
	A G U A		P O T A B L E							
Mueble o servicio	Consumo por mueble (L/servicio)			Consumo acumulado por servicios diarios			Acumulados mensuales (m ³ /mes)			
	Sin ahorro	Con ahorro		Número de servicios	Sin ahorro (L / día)	Con ahorro (L / día)	Sin ahorro	Con ahorro	Ahorro potencial	Por dotación diaria de diseño ⁴
	Mujeres	Hombres	Otros							
Lavabo ¹	4.0	1.0	100	100	800	200				
Inodoro ¹	6.0	5.0	100	36	816	680				
Mingitorio ¹	4.0	1.5		64	256	96	67	34	33	155
Limpieza ²	50.0	20.0		6	300	120				

¹Catálogo de muebles ahoradores; 2IMTA 2003; 3Proveedores de equipo para cocinas; 4Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Arnal y Betancourt, 2005), la dotación mínima de agua potable para diseño de instalaciones hidráulicas en oficinas es de 50 L/persona/día; 5Consideración para este caso.

Se concluye que los edificios de oficinas con 100 usuarios diarios en Ciudad de México, podrían presentar para la tecnología convencional un consumo promedio mensual de 67 m³, con oportunidad de disminuir a 34 m³/mes con tecnologías ahorradoras de agua (un ahorro de 33 m³/mes), que corresponde a un potencial de agua de 50 %.

El ejercicio permite aclarar que el concepto de dotación mínima diaria por muebles de servicio que ofrecen las Normas Técnicas Complementarias de Construcción (Arnal y Betancourt, 2005), representa el dato reglamentario para el diseño, instalación y funcionamiento adecuado de las

instalaciones sanitarias, así como el dimensionamiento adecuado de la cisterna, donde, para oficinas con 100 usuarios se requiere de dotación mínima de 155 m³/mes; el doble del requerimiento para abastecer las tecnologías convencionales y el triple de lo requerido por tecnologías ahorradoras.

3.1.3. Hoteles

En la Tabla 3.6 se muestran los consumos que se tendría en un hotel con 100 usuarios diarios, con tecnologías convencionales contra ahorradoras.

Tabla 3.6 Consumo final mensual de agua en hoteles (100 huéspedes diarios)

Mueble o servicio	USO FINAL DE AGUA POTABLE EN OFICINAS									
	CASO: Huéspedes diarios ⁵ : 100		Mujeres: 50		Hombres: 50					
	A G U A P O T A B L E									
	Consumo por mueble (L/servicio)	Consumo acumulado por servicios diarios				Acumulados mensuales (m ³ /mes)				
	Sin ahorro Con ahorro	Mujeres	Hombres	Otros	Sin ahorro (L / día)	Con ahorro (L / día)	Sin ahorro	Con ahorro	Ahorro	Por dotación diaria de diseño ⁴
Lavabo ¹	4.0 1.0	100	100		800	200				
Inodoro ¹	6.0 5.0	100	100		1200	1000				
Regadera ¹	150.0 60.0	50	50		15000	6000	571	239	332	930
Limpieza ²	50.0 20.0			6	300	120				
Lavadora (14 kg)	280.0 98.0			4	1120	392				

¹Catálogo de muebles ahorradores; ²IMTA 2003; ³Proveedores de equipo para cocinas; ⁴De acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Arnal y Betancourt, 2005), la dotación mínima de agua potable para hoteles es de 300 L/huésped/día; ⁵Consideración para este caso.

Se concluye que los edificios de hoteles con 100 usuarios diarios en Ciudad de México, presentarían para tecnología convencional un consumo promedio mensual de 571 m³, que disminuye a 239 m³/mes con tecnologías ahorradoras de agua (un ahorro de 332 m³/mes), esto equivale a un ahorro potencial de agua de 58 %.

En el diseño del sistema hidráulico y dimensionamiento de cisterna en un hotel con 100 usuarios se considera una dotación mínima de 930 m³/mes; estimado a partir de dotación de Arnal y Betancourt (2005); que supera 1.6 veces la demanda con tecnologías convencionales, y 3.9 veces lo requerido por tecnologías ahorradoras.

3.1.4. Escuelas primarias

En la Tabla 3.7, se muestran los consumos que se tendrían en una escuela con 100 usuarios diarios, para tecnologías convencionales contra ahorradoras.

Tabla 3.7 Consumo final mensual de agua en escuelas (100 alumnos)

CASO:	Alumnos ⁵ :		Mujeres:			Hombres:		
	100		50			50		
			A G U A	P O T A B L E				
Mueble o servicio	Consumo por mueble (L/servicio)		Consumo acumulado por servicios diarios			Acumulados mensuales (m ³ /mes)		
	Sin ahorro	Con ahorro	Número de servicios			Sin ahorro	Con ahorro	Por dotación diaria de diseño ⁴
Lavabo ¹	4.0	1.0	200	200	1600 g	400		
Inodoro ¹	6.0	5.0	150	45	1170	975	108	51
Mingitorio ¹	4.0	1.5		105	420	158	57	78
Limpieza ²	50.0	20.0		6	300	120		

¹Catálogo de muebles ahorradoras; ²IMTA 2003; ³Proveedores de equipo para cocinas; ⁴De acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Arnal y Betancourt, 2005), la dotación mínima de agua potable para escuelas es de 25 L/alumno/día; ⁵Consideración para este caso.

Se concluye que los edificios de escuelas con 100 usuarios diarios en Ciudad de México, presentarían para la tecnología convencional un consumo promedio mensual de 108 m³, con capacidad de disminuir a 51 m³/mes con tecnologías ahorradoras de agua (un ahorro de 57 m³/mes), que significa un ahorro potencial de agua de 52 %.

En este caso, para el diseño del sistema hidráulico y el dimensionamiento de cisterna en una escuela con 100 usuarios diarios, se consideraría una dotación mínima de 78 m³/mes a partir de la dotación por alumno (Arnal y Betnacourt, 2005); dotación que representa $\frac{3}{4}$ partes del consumo estimado con tecnologías convencionales en un escenario como el de la Tabla 3.7, conclusión que debe tomarse en cuenta para revisar si las escuelas realmente están recibiendo el suministro adecuado de agua para cumplir con la cantidad de agua que los estudiantes demandan para su higiene y para el funcionamiento de los servicios sanitarios.

3.1.5. Restaurantes

En la Tabla 3.8, se muestra el consumo que se tendría en un restaurante con 100 usuarios diarios, para tecnologías convencionales contra ahorradoras.

Tabla 3.8 Consumo final mensual de agua en restaurantes (100 comensales diarios)

USO FINAL DE AGUA POTABLE EN OFICINAS										
CASO:	Comensales diarios ⁵ : 100			Mujeres: 50			Hombres: 50			
Mueble o servicio	Consumo por mueble (L/servicio)		Consumo acumulado por servicios diarios					Acumulados mensuales (m ³ /mes)		
	Sin ahorro	Con ahorro	Mujeres	Hombres	Otro	Sin ahorro (L / día)	Con ahorro (L / día)	Sin ahorro	Con ahorro	Ahorro potencial
Lavabo ¹	4.0	1.0	50	50		400	100			
Inodoro ¹	6.0	5.0	50	15		390	325			
Mingitorio ¹	4.0	1.5		35		140	53			
Limpieza ²	50.0	20.0			6	300	120	66	33	33
Lavavajilla	35.0	20.0			20	700	400			
Máquina de hielo ³	7.1	2.7			28	199	76			

¹Catálogo de muebles ahorradores; ²IMTA 2003; ³Proveedores de equipo para cocinas; ⁴De acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Arnal y Betancourt, 2005), la dotación mínima de agua potable para restaurantes es de 12 L/comensal/día; ⁵Consideración para este caso.

Se concluye que los edificios de restaurantes con 100 comensales diarios en la Ciudad de México, presentarían para tecnología convencional un consumo promedio mensual de 66 m³, que disminuiría a la mitad con el uso de tecnologías ahorradoras de agua (un ahorro de 33 m³/mes), equivalente a un ahorro potencial de agua de 50 %.

Sólo para diseño del sistema hidráulico y dimensionamiento de cisterna en un restaurante con 100 usuarios diarios se considera una dotación mínima de 37 m³/mes para diseño de instalaciones (Arnal y Bentancourt, 2005); similar al consumo estimado con ahorro de agua y menor que la demanda con tecnologías convencionales.

3.2. Línea base de los consumos de agua por tipo de edificio

A partir del consumo mensual mostrados anteriormente, se obtienen los consumos promedios diarios por persona y por día que se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Líneas base de consumo promedio de agua en edificios de Ciudad de México

Edificio	Consumo promedio de agua potable		
	Dotación mínima para diseño (litros/persona/día)	Tecnología convencional (litros/persona/día)	Tecnología ahoradora (litros/persona/día)
Oficinas	50 ³	21.6 ¹	11.0 ¹
Hoteles	300 ³	184.2 ¹	77.1 ¹
Escuelas	25 ³	34.8 ¹	16.5 ¹
Restaurantes	12 ³	21.3 ¹	10.6 ¹
Vivienda residencial	145 ⁴	113 ²	55 ²
Vivienda media	142 ⁴	129 ²	59 ²
Vivienda popular	140 ⁴	121 ²	55 ²

¹Consideración de 100 usuarios por edificio, ver Tablas 3.6 a 3.9; ²Consideración de 4 personas por vivienda (CONAFOVI, 2005), ver Tabla 3.4; ³ Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Arnal y Betancourt, 2005); ⁴ CONAGUA (MAPAS-Libro 4).

3.3. Índices de consumo eficiente de agua potable por edificio, aprovechamiento de agua pluvial, reúso y tratamiento de agua residual

Las líneas base de consumo de agua dependen de los hábitos, de las necesidades y de los objetivos del proyecto, así como de la oferta de muebles ahorreadores:

- Las dotaciones marcadas en reglamentos de construcción están estipuladas para el diseño de las instalaciones.
- El estimado de dotaciones a partir de muebles convencionales reportará el consumo atendiendo a hábitos promedio haciendo un uso eficiente de sus usos.
- El estimado de dotaciones a partir de muebles ahorreadores de agua y una cultura del agua servirá como referencia, para el consumo en cantidad y calidad adecuada para el desarrollo confortable y seguro de los usuarios.

Con los valores de la Tabla 3.9 se obtienen los índices de consumo eficiente (Tabla 3.10). De las Tablas 3.5 a 3.9 se obtienen: a) los porcentajes de agua potable que pueden ser reemplazados, usando agua de lluvia y residual-tratada en servicios tanto de WC como mingitorios para edificaciones; y b) el potencial para tratamiento del agua residual descargada (ver índices en la Tabla 3.11).

Tabla 3.10 Índices de consumo eficiente de agua estimados para edificaciones comunes

Edificio	Índice de consumo eficiente (ahorro con respecto a estimado convencional)
Oficinas	49 %
Hoteles	58 %
Escuelas	53 %
Restaurantes	50 %
Vivienda de alto nivel socioeconómico	51 %
Vivienda de nivel socioeconómico medio	54 %
Vivienda de menor nivel socioeconómico	55 %

Tabla 3.11 Índice de posible aprovechamiento de agua de lluvia y residual tratada en servicios con capacidad de surtirse con agua sin calidad de potable

Edificio	Índices potenciales para manejo sustentable del agua en edificios	
	Potencial para uso de agua pluvial y tratada en WC y mingitorios	Potencial de tratamiento del agua residual
Oficinas	49 %	95 %
Hoteles	7 %	95 %
Escuelas	46 %	95 %
Restaurantes	25 %	88 %
Vivienda de alto nivel socioeconómico	40 %	80 %
Vivienda de nivel socioeconómico medio	40 %	80 %
Vivienda de menor nivel socioeconómico	40 %	80 %

3.4. Bases técnicas generales de las instalaciones hidrosanitarias

Las instalaciones hidrosanitarias en una red intradomiciliaria se componen del conjunto de tuberías de conducción y distribución de agua instalado dentro del edificio; inicia desde el medidor y finaliza en las ramificaciones de entrega en los muebles sanitarios de baño, cocinas, servicios de lavado o de limpieza, etc. (CONAFOVI, 2005).

La red hidrosanitaria incluye las tuberías de abastecimiento de agua potable y las tuberías de descarga de aguas residuales hacia drenaje; o hacia sistemas de tratamiento previo a la descarga al drenaje o para reúso en el edificio (CONAFOVI, 2005).

La garantía de una instalación con mayor vida útil sin presencia de fugas, sólo es posible si los materiales utilizados en el sistema hidráulico cumplen con las normas mexicanas NMX, y si se supervisa su correcta instalación (CONAFOVI, 2005).

Otro aspecto importante es el manejo sustentable del agua, por lo que se plantea como una estrategia el ahorro de agua a partir de diversas acciones en la vida diaria, así como la utilización de sistemas y dispositivos que pueden instalarse tanto en el interior como en el exterior de los edificios.

En los últimos años ha aumentado la disponibilidad de muebles sanitarios para el uso eficiente del agua en edificios, conocidos también como ecotecnologías, porque permiten el ahorro de agua cumpliendo con eficiencia el servicio de WC, mezcladoras, regaderas y cuartos de lavado. Las recomendaciones técnicas de los encargados de obra, debe contemplar la simplicidad del manejo y mantenimiento de las tecnologías ahorradoras (CONAFOVI, 2005).

Los accesorios ahorradores de agua (complementos) que se instalan en llaves de lavabos, regaderas y fregaderos, logran disminuir hasta 40 % del consumo de agua, conservando el confort del usuario. Estos complementos tienen la función de combinar menores caudales (menos litros por minuto de agua), mayores velocidades del agua, evitando los caudales en demasia, por ejemplo, microdispersores o aireadores (CONAFOVI, 2005).

En el siguiente apartado se describen ecotecnologías para ahorro de agua, muebles sanitarios como paralizadores, obturadores, regaderas, inodoros, mezcladoras, calentadores de agua, etc.

El uso eficiente del agua en edificios es un componente esencial dentro de los planes de abastecimiento y saneamiento del organismo del sistema de aguas, donde la complejidad del sistema incluye abastecimiento, tratamiento y distribución de agua potable, que conlleva a la necesidad de construir, mantener y operar sistemas para colección, conducción, tratamiento del agua residual y reúso del agua residual tratada (CONAFOVI, 2005).

El reúso de agua en edificios sólo será posible si la calidad del agua residual tratada cumple con la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1998). Cuando la red intradomiciliaria de los edificios está habilitada con redes separadas de drenaje (aguas grises y aguas negras) se diseñan sistemas especializados para reusar las aguas tratadas en inodoros y en área verdes, respectivamente. Diversos métodos y tecnologías se presentan en un apartado posterior para lograr el tratamiento de las aguas residuales y en función del mismo, el reúso específico.

En cuanto al aprovechamiento del agua pluvial, depende de factores como son las características de la lluvia, las superficies para captación, la tecnología para reutilización, el sistema compuesto por captación, la recolección, la conducción, el tratamiento y el almacenamiento.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

4. Manejo sustentable del agua en los edificios

4.1. Consideraciones

La disponibilidad de agua cada vez es menor con respecto a la demanda para satisfacer los requerimientos de la sociedad. Por ello, es importante definir una metodología que incluya los factores que inciden en el ahorro del recurso del agua en los edificios de Ciudad de México.

Entre las principales variables que influyen en contra o a favor en el uso eficiente del agua se tienen:

1. Las fugas constituyen un importante factor agravante de las pérdidas de agua que se tienen en las redes primarias y secundarias de distribución de agua potable; las fugas en edificios se presentan en tomas domiciliarias, en piezas especiales (llaves, válvulas, etc.) y muebles sanitarios. Una fuga en la red de agua potable consiste en un escape del líquido en algún punto de la tubería, por rotura, o fallas de alguna pieza especial del sistema de distribución (conexiones, válvulas, codos, etc.); con las fugas se pierde parte del caudal suministrado a través de la red de agua potable. Al igual que la pérdida debida al rebose de los tanques de almacenamiento, forman parte del componente de agua que no es facturada por el sistema (ver Tabla 4.1) (Fuentes-Mariles *et al.*, 2011).
2. La selección de los muebles y accesorios ahorradores de agua es una de las variables principales para el uso eficiente. Para esto existe gran variedad de modelos de regaderas, inodoros, llaves y accesorios que se pueden instalar en las distintas edificaciones. La decisión depende de:
 - a) aspectos técnicos (carga de presión que soportan los accesorios, muebles de baño y cocina);
 - b) ubicación de la obra;
 - c) solvencia económica de las familias, empresas o instituciones;
 - d) compromiso social de la población, empresas y gobierno con el ahorro de agua.
3. Mantenimiento y mejoramiento de los programas de las dependencias del gobierno de Ciudad de México para inculcar y reforzar la cultura del agua entre sus habitantes.

De Arreguín-Cortés (1991) se obtiene la Tabla 4.1 con una descripción del ahorro de agua al aplicar técnicas para el buen uso del recurso.

Tabla 4.1 Técnicas de uso eficiente del agua en el medio municipal

Actividad	Ventajas	Desventajas	Reducción del consumo
Medición	● Potencial de ahorro alto.	○ Altos costos ○ Requiere cambios en la estructura tarifaria.	25 % en áreas que no tienen medición.
Reparación de fugas	✓ Potencial de ahorro medio. ✓ Elimina molestias de ruido.	○ Identificación.	9 %
Tarifas	● Pueden incluir el ahorro.	○ Objección de los usuarios. ○ Requiere de estructuras bien diseñadas para ser efectivas.	10 %
Dispositivos ahorreadores y cambio de llaves	● Ahorros inmediatos.	○ Desconocimiento de los dispositivos ○ Requiere de la cooperación del usuario. ○ No aplicable a todos los domicilios ○ En algunos casos, caros.	Al menos 10 % del consumo residencial.
Reglamentación	● Potencial de ahorro alto.	Sólo aplicable a edificaciones nuevas.	10 % del uso residencial.
Reúso y jardines eficientes	✓ Ahorros significativos. ✓ Bajo mantenimiento de las plantas vivas.	○ Baja aceptación de los usuarios. ○ Preferencia por determinados estilos de jardines. ○ Posible carencia de plantas nativas.	10 a 20 % del uso residencial.
Utilización de nuevos accesorios y muebles	● Ahorros potenciales.	○ Desconocimiento de los productos. ○ Resistencia al cambio.	25 % del uso residencial.
Educación	✓ Cambio de hábitos. ✓ Resultados a largo plazo. ✓ Promueve la participación voluntaria.	○ Requiere de un gran esfuerzo.	9 %

Fuente: Grishman y Fleming (1989), de acuerdo con Arreguín (1991).

4.1.1. Fugas

La falta de registros de aforos en los distintos elementos de la red de distribución, obliga a hacer estimaciones de fugas en las redes de agua potable y no permite saber cuál es el porcentaje que se presenta en las tuberías principales y secundarias, así como en las tomas domiciliarias (Arreguín y Ochoa, 1997). Otro factor de impacto es el valor de los errores por mala medición domiciliaria o el uso de un solo medidor para predios que incluyen varias tomas en su interior. Esto último puede

enmascarar el uso ineficiente del agua por algunos usuarios una vez que se promedia con el resto de usuarios que comparten la toma y el único medidor.

En las redes de distribución, de acuerdo con Arreguin-Cortés (1991), es común encontrar problemas como:

- Fugas por ruptura y por corrosión de tuberías, por fallas en las juntas y por fallas en las válvulas.
- Fugas por falta de control de calidad de las piezas especiales entre el predio a la red de agua potable.
- Desgaste y fallas en el sello de válvulas de control con diseño deficiente.
- Operación deficiente de válvulas de alivio de presión y de admisión o expulsión de aire.

En la Tabla 4.2, tomada de Arreguin-Cortés (1991), se describe lo que es una fuga de agua, su posible localización y los factores que pudieron haber provocado dicha fuga.

Tabla 4.2 Localización y descripción de fugas de agua potable

Definición	Tipos	Factores
	En las redes primarias de distribución.	Fallas en hermeticidad por desgaste. Fracturas por movimientos o sobrepresiones.
	En las redes secundarias de distribución.	Programa de deficiencias de monitoreo y mantenimiento de la infraestructura por parte de las dependencias. Calidad cuestionable de los materiales.
Una fuga es una salida de agua no controlada de cualquier parte de los elementos del sistema de distribución de agua potable.	En los tanques de almacenamiento.	Supervisión deficiente de la obra. Procedimientos técnicos deficientes por constructores o técnicos de instalación o mantenimiento.
	En las tomas domiciliarias.	Fallas en hermeticidad. Fallas por movimientos o sobrepresiones.
	En accesorios como llaves, válvulas, etc.	Carencia o deficiencia de programas de monitoreo y mantenimiento de las dependencias. Calidad cuestionable de los materiales. Supervisión deficiente de la obra.
	En los muebles de baño y aparatos de uso común en las edificaciones.	Procedimientos técnicos deficientes por instaladores. Apatía de los usuarios. Falta de una cultura de valorización del agua.

Fuente: Arreguin-Cortés (1991).

- Fugas de agua en sistemas de distribución

Arreguin-Cortés (1991) describe que al existir: i) esfuerzos o vibraciones producidas por cargas superficiales hay riesgo de que se produzcan fugas por agrietamiento transversal; ii) fallas en control de calidad de construcción hay riesgo de que se presentan fugas por aplastamiento longitudinal; y iii) fatiga de materiales, fallas en control de calidad de los materiales, o golpe de ariete el riesgo es que

sucedan fugas por agrietamiento longitudinal. Otros factores que aumentan el riesgo de fugas son la corrosión y control de calidad o instalaciones deficientes de las piezas especiales.

En la Tabla 4.3 se muestran las causas más comunes de ocurrencia de fugas en sistemas de distribución de agua potable y sus frecuencias relativas que Arreguín-Cortés (1991) reporta de Enríquez *et al.* (1993).

Tabla 4.3 Frecuencia de fugas en líneas principales y secundarias

Causa que produce la fuga	Frecuencia de la fuga (%)
Fallas en válvulas	9.20
Fallas en uniones de plomo	36.60
Fallas en anillos	1.10
Fallas en uniones simplex	10.10
Fallas en uniones Gibault	0.90
Fallas en hidrantes	1.70
Fallas en tapones	1.00
Tuberías partidas	12.30
Tuberías rajadas	2.30
Tuberías perforadas	12.30

Fuente: Enríquez et al., 1983.

Fuentes Mariles *et al.* (2011) y Arreguín-Cortés y Ochoa-Alejo (1997) presentan datos con porcentajes de las fugas de agua potable, donde México tiene 39%, mientras que Brasil y Suecia cuentan con 25% de fugas. Lo cual muestra que podría buscarse como meta, al menos reducir 14% de ocurrencia de fugas en sistemas de distribución de agua potable.

- Fugas de aguas en edificios

En lo que respecta a las instalaciones en edificios, los problemas más comunes causantes de fugas de agua son:

- Medidores de agua con lecturas que se salen del intervalo de mediciones o que han perdido la calibración.
- Desgaste de empaque y piezas móviles de llaves mezcladoras.
- Desgaste de los sellos en los accesorios para entrada y salida de los tanques de WC.
- Fallas de tuberías ocultas, de cuartos de lavado, baños y cocinas, que son detectadas hasta que las fugas de agua deterioran muros y pisos.

La Tabla 4.4 muestra que las fugas de agua en edificios, aparentemente insignificantes, llegan a acumular grandes desperdicios de agua a lo largo de los días.

Tabla 4.4 Acumulación de gastos de agua potable por fugas en muebles sanitarios o piezas especiales

Mueble o accesorio	Tipo de fuga	Gastos desperdiciados por fugas
Llave de nariz; o mezcladoras de lavabo o regadera.	Fuga continua gota tras gota. Si 20 gotas ocupan 1 ml, entonces si la fuga es de 20 gotas por segundo (1200 gotas/min), la fuga de agua desperdicia 60ml/min ($0.000060 \text{ m}^3/\text{min}$).	Los caudales acumulados por la fuga de agua serían $0.0036 \text{ m}^3/\text{h}$; $0.0864 \text{ m}^3/\text{d}$; $2.592 \text{ m}^3/\text{mes}$; y $31.1 \text{ m}^3/\text{año}$.
Inodoros (WC)	Fuga continua como hilo de agua. Si es equivalente a 4 veces el caudal de fuga gota por gota, el caudal perdido es de 240 ml/min ($0.00024 \text{ m}^3/\text{min}$). Fuga continua de agua, por llave en muy mal estado o mal cerrado, por ejemplo, de 1 L/min	Los caudales acumulados por la fuga de agua serían $0.0144 \text{ m}^3/\text{h}$; $0.3456 \text{ m}^3/\text{d}$; $10.368 \text{ m}^3/\text{mes}$ y $124.416 \text{ m}^3/\text{año}$. Los volúmenes desperdiciados serían $0.060 \text{ m}^3/\text{h}$, $1.44 \text{ m}^3/\text{d}$, $43.2 \text{ m}^3/\text{mes}$, $518.4 \text{ m}^3/\text{año}$.
	Fuga de agua de WC, entre servicios, por rebose de llenado. Por ejemplo, equivalente a fuga de hilo de agua, y si 5 de cada 20 min está llenando y no hay fugas. El volumen desperdiciado es 75 % de $0.00024 \text{ m}^3/\text{min}$. Fuga de agua de WC, entre servicios, por falta de sello en accesorios para vaciado. Por ejemplo, si es equivalente a una cuarta parte del volumen de fuga de hilo de agua. El volumen desperdiciado es 25 % de $0.00024 \text{ m}^3/\text{min}$.	Los caudales acumulados por rebose de WC serían tan altos como $0.0108 \text{ m}^3/\text{h}$; $0.2592 \text{ m}^3/\text{d}$; $7.776 \text{ m}^3/\text{mes}$; y $93.312 \text{ m}^3/\text{año}$. Los caudales acumulados por pérdidas en fugas de accesorios de descarga serían tan altos como $0.0036 \text{ m}^3/\text{h}$; $0.0864 \text{ m}^3/\text{d}$; $2.592 \text{ m}^3/\text{mes}$; y $31.104 \text{ m}^3/\text{año}$.

Adaptado de: Fuentes Mariles et al. (2011) y Arreguín-Cortés y Ochoa-Alejo (1997)

4.1.2. Funcionamiento de la red de distribución

El diseño hidráulico de una red consiste en seleccionar los diámetros de sus tuberías para que se logren las presiones recomendadas en todos los puntos del sistema. Presiones que deben estar dentro del intervalo de una presión mínima (h_{\min}), para que el agua alcance a llegar a los domicilios con una presión máxima (h_{\max}) que evite el riesgo de falla de las tuberías por sobrepresión. En México, las normas establecen que estas presiones límite son 10 y 30 metros de columna de agua (mca), respectivamente (CONAGUA, 1996).

En la Figura 4.1 se muestra un esquema de la distribución de la carga de presión en la red de distribución (h_{req}) para el punto de la toma domiciliaria. Esta carga de presión es la que debe variar entre un mínimo de 10 mca y un máximo de 30 mca; una presión en exceso podría ocasionar fugas. Para un edificio de un máximo de dos niveles, es posible que aún con la carga mínima (h_{req}) se cumpla con la carga de presión en mueble o servicio crítico ($h_{estática} + h_{man}$) una vez que se resten las cargas de velocidad ($v^2/2g$) a la salida y a la suma de pérdidas de carga ($\sum h_f$) por fricción y locales (accesorios) en la conducción.

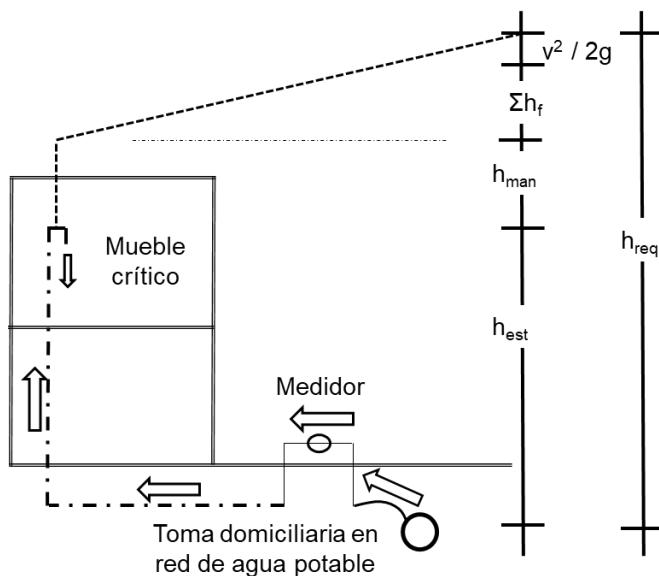


Figura 4.1 Distribución esquemática de la carga de presión (h_{req}) requerida en la línea de distribución para cumplir con la carga de presión en mueble o servicio crítico ($h_{estática} + h_{man}$). *Fuente: Zepeda (2008)*

Además del abastecimiento en cantidad, presión y calidad para todos los sectores de la red, también es importante el abastecimiento de componentes públicos como hidrantes contra incendios e instituciones públicas.

4.1.3. Control de calidad

En la Tabla 4.5 se muestran problemáticas y factores que impiden el uso ineficiente del agua en edificios, así como sus consecuencias.

Tabla 4.5 Fallas técnicas en muebles o accesorios hidráulicos para edificios y sus causas

Fallas en muebles sanitarios	Motivos de las fallas	Observaciones
Fallas anticipadas a vida útil de componente en instalaciones de edificios: <ul style="list-style-type: none"> ○ Red de distribución (tuberías, piezas especiales). ○ Muebles sanitarios (WC, regaderas, lavabos). ○ Accesorios (empaques, llaves, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> ● Incumplimiento de las especificaciones del producto. ● Diseño obsoleto. ● Elemento inadecuado para la necesidad específica. ● Supervisión deficiente por usuarios o por supervisores. 	<ul style="list-style-type: none"> ● La mayoría de las veces el usuario asume el costo y no reporta queja. Algunos fabricantes continúan con deficiencia en control de calidad.

Fuente: Zepeda (2008)

Por falta de exigencia de las empresas de agua potable y saneamiento, o de los usuarios, algunos de los elementos (tuberías, válvulas, etc.) y muebles sanitarios, utilizados en las instalaciones hidráulicas de edificaciones no cumplen con el debido control de calidad, en ocasiones es por cambio de especificaciones o por diseño obsoleto. Como consecuencia de que los usuarios o supervisores omitan la reclamación de favores a que fabricantes continúen con sus malas prácticas de control de calidad en sus productos, lo que disminuye la probabilidad de encontrar fabricantes que realmente hagan investigación de calibración de los muebles sanitarios y accesorios para instalaciones hidráulicas en edificios. Además, la baja participación y retroalimentación por los usuarios y supervisores influye para que las normas técnicas que regulan la calidad de los productos no alcancen sus objetivos de seguimiento a los fabricantes (ver Tabla 4.5).

4.2. Tecnologías para el ahorro y uso eficiente del agua potable

4.2.1. WC de bajo consumo

Es importante una breve reseña de modelos de WC convencionales de una sola descarga:

- Para WC que aún manejan descargas de 9 l, se estima un consumo promedio de 45 L/Hab/d (ver Tabla 4.6).
- Si dentro de la caja se colocan botellas con volumen de dos litros, el consumo se reduce a siete litros por descarga (Lpd) y el acumulado diario a 35 L/Hab/d (Tabla 4.6).
- En contraparte, un WC con tecnología de mínimo consumo, por ejemplo, el que funciona con 4.8 Lpd, requiere un promedio de 24 L/Hab/d (Tabla 4.6).

Para el uso responsable y eficiente del agua, el gobierno de Australia cuenta con el organismo WELS (Gobierno de Australia, 2009) para estandarizar y certificar los muebles o dispositivos ahorradores de agua. En el caso de los WC, el sistema WELS aplica para el conjunto de muebles en combinación con accesorios para el depósito o el fluxómetro. El sistema WELS de Australia condiciona a los WC eficientes con un consumo máximo promedio de 5.5 litros por descarga. El consumo promedio-WELS de un WC con descarga total y parcial del tanque dual corresponde al promedio de una descarga completa del tanque y cuatro medios tanques.

Se tiene entonces que, la práctica o la cultura de ahorro de agua por servicios de los WC debe desarrollarse tanto en muebles convencionales (en funcionamiento) como en muebles nuevos (nuevas instalaciones). Por ejemplo, sea el caso innovador del WC dual, en que las descargas son controladas para volúmenes parcial o total de la caja del WC, correspondientes a tres y seis litros, respectivamente. Este nuevo sistema tendrá una descarga media de 18 L/Hab/d (ver Tabla 4.6) donde se muestra el consumo de acuerdo al tipo y uso del WC.

Tabla 4.6 Consumos diarios y anuales por persona en vivienda por uso de inodoro

Tipo de WC	Uso	Descarga por servicio (Lpd)	Usos diarios por persona	Consumo diario por usos y por persona (L)	Consumo per cápita diario promedio (L/Hab/d)	Consumo efectivo promedio (L/uso)
Antiguo de caja	Orina	9	4	36	45	9
	Ambos	9	1	9		
Antiguo con botella de 2L en caja de agua	Orina	7	4	28	35	7
	Ambos	7	1	7		
Con descarga máxima ¹	Orina	6	4	24	30	6
	Ambos	6	1	6		
Con descarga intermedia ¹	Orina	4.8	4	19.2	24	4.8
	Ambos	4.8	1	4.8		
Con una descarga ¹	Orina	3.9	4	15.6	19.5	3.9
	Ambos	3.9	1	3.9		
Descargas controladas ³ (dual)	Orina	3	4	12	18	3.6
	Ambos	6	1	6		
Descargas controladas (dual) ²	Orina	4.2	4	16.8	22.8	4.6
	Ambos	6	1	6		
Descargas controladas ³ (dual)	Orina	3	4	12	16.8	3.4
	Ambos	4.8	1	4.8		

¹ Máximas permisibles en WC una descarga de caja o fluxómetro con una descarga. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-002-CONAGUA-2015, Aparatos y accesorios de uso sanitario (SEMARNAT, 2016).

² Máximas descargas en WC dual de caja o fluxómetro. PROY-NOM-002-CONAGUA-2015 (SEMARNAT, 2016), Aparatos y accesorios de uso sanitario.

³ Descargas en WC dual con mayor eficiencia de consumo marcado en norma.

Nota: *Ambos*, se refiere a sólidos y orina. *Lpd*, se refiere a litros/descarga

Fuente: Gobierno de Australia (2009)

Dos alternativas para actualizar tecnología de WC convencionales son: introducir un objeto que disminuya el volumen útil de la caja; y una más adecuada es sustituir el sistema de llenado y vaciado por uno de descarga dual mediante un adaptador estándar que regula descargas para líquidos y sólidos.

En la Figura 4.2 se presenta cómo podría adaptarse dentro de la caja del WC de alta descarga un objeto para disminuir el volumen consumido por servicio.

En la Figura 4.3 se muestra un sistema dual para sustituir el sistema de una descarga en WC convencionales.

Los consumos efectivos tanto para modelos de WC de una descarga (convencionales y con descarga controlada) y de sistema dual (descargas para orina y para orina con sólidos) se presentan en la Tabla 4.7, donde el promedio por descarga o consumo efectivo, se determinó considerando cinco descargas por persona al día (cuatro para orina y una para orina y heces).

Tabla 4.7 Modelos de regaderas que cumplen con la norma de gasto máximo de 10 L/min donde sólo modelos H tienen certificado NOM-008-CNA-1998

Tipo regadera	Modelo	Gasto (L/min)		Presión de trabajo (kg/cm ²)		Material
		Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima	
Limpieza automática	AC	4	10	0.2	6	Latón
Regulables	H			1	6	
Manuales	RM			1.5	6	
Columna	SRC					
Certificadas de acuerdo con la NOM-008-CNA-1998 Baja, media y alta presión	H-100					
	H-200					
	H-300					
	H-500					
	H-800					
	H-900					
	H-900					
				0.2	6	

Fuente: NOM-008-CNA-1998



Una solución inmediata, sencilla y económica para WC de alto consumo, es introducir una botella con agua en la caja del inodoro y así reducir el volumen útil del compartimiento. Una desventaja, por mantener el sistema antiguo, es el riesgo de fugas por falta de hermeticidad en sellos o juntas.

Figura 4.2 Disminución de volumen de agua en caja de WC de alto consumo. Fuente: Sedapal (2025)



Figura 4.3 Opciones para acondicionar un WC de caja con descarga única a sistema para descarga dual, opción a descarga parcial (de orina) o completa (de sólidos y orina). Sistema dual para WC Dica KD4056P (izq); Fuente: Surtidor (2025)

Según el esquema de WELS (Gobierno de Australia, 2009) el uso de WC duales permite ahorrar agua mediante el consumo eficiente (Tabla 4.7), por tanto, hay que considerar las siguientes estimaciones:

- Un WC de 6 litros consume 30 L/Hab/d, para cinco servicios por habitante.
- Un WC dual 6/3 litros consumen 18 L/Hab/d, disminuyendo el consumo en 12 L/Hab/d.
- Por tanto, para una familia de cuatro habitantes, el ahorro anual sería de 17.5 m³.

De acuerdo con el Programa de transformación del mercado en el Gobierno del Reino Unido para productos sustentables (Gobierno de Reino Unido, 2009), se tiene que el “consumo efectivo” debe calcularse como el promedio de cuatro descargas: una descarga de tanque lleno y tres descargas parciales. Puntualizan que un WC es elegible como eficiente si el consumo efectivo es menor o igual que 4.5 litros por descarga efectiva. De la Tabla 4.8 sólo cumpliría el WC con descarga dual 3.0/4.8 litros. En el Reino Unido se identifican dos clases de WC dentro del estándar. La clase 1 comprende los WC con descargas nominales de 4, 5, 6, 7 o 9 litros; la clase 2, pueden ser WC de fluxómetro con descargas de 6 litros o WC duales con descarga máxima de 6 litros y descarga controlada siempre menor o igual que 4 litros.

Tabla 4.8 Regaderas que cumplen con NOM-008-CNA-1998 y selección de las que cuentan con grado ecológico. Adaptada de PROFECO, 2011

Modelo de regadera	Calidad global (PROFECO, 2011)	Presión de pruebas (kg/cm ²)	Gasto (L/min)
DICA 4501B metal (China) ¹	Excelente	0.2 a 1.0	Máximo de 3.8, grado ecológico
Amanda D'Agua RBA018 ² (México)	Muy buena	0.2 a 1.0	Máximo de 3.8, grado ecológico
Proeco ABS (México) ¹	Muy buena	0.2 a 1.0	Máximo de 3.8, grado ecológico
Wilson 4711 plástico (China) ⁴	Muy buena	0.2 a 3.0	3.8 a 7.5, grado ecológico ³
Stretto ABS Peltre (China) ⁴	Excelente	0.2 a 3.0	3.8 a 7.7, grado ecológico ³
Brass craft plástico (China) ⁴	Excelente	0.2 a 3.0	5.1 a 10
URREA U-3005B (Taiwán) ⁵	Excelente	0.2 a 6.0	5.8 a 8.8
Stretto 699817 metal (China) ⁵	Excelente	0.2 a 6.0	4.1 a 8.6
Stretto 699746 ABS (China) ⁵	Excelente	0.2 a 6.0	4.5 a 8.5
Helvex H-200 metal (México) ⁵	Excelente	0.2 a 6.0	cumple
Helvex H-500 metal (México) ⁵	Excelente	0.2 a 6.0	cumple

Notas. Las regaderas incluidas en Tabla 4.9 fueron seleccionadas de PROFECO (2011); todas las regaderas indicadas en Tabla 4.9 son desarmables para mantenimiento. ¹ cumple el gasto máximo permitido solo a presión baja; ² cumple sin deformarse el gasto máximo permitido solo a presión baja; ³ grado ecológico a presión baja; ⁴ cumple el gasto máximo permitido a presiones baja y media; ⁵ cumple incluso a presión alta;

Una mejor forma de actualizar WC en buen estado, consiste en sustituir la válvula de llenado y su respectivo flotador (“sapito”) de sellado por un sistema dual compuesto de la válvula de entrada y de la válvula ahorradora de agua (con alternativa de descargas total y parcial). Para que el sistema sea

eficiente debe corregirse cualquier fuga por falta de hermeticidad en sellos o juntas. En la Figura 4.3 se muestra URREA Sistema Dual para WC, KD4056P. La oferta en tlapalerías es amplia y debe revisarse calidad y accesibilidad del precio.

En la Figura 4.4 se muestra un WC y accesorios para descargas completa y parcial (dual). La forma de ahorrar agua usando un sistema eficiente de WC (diseñado para descargas parcial y completa del tanque) es instalar un WC de sistema dual.



Figura 4.4 Muestra de WC con sistema dual. WC dual una pieza (izq); opción botonera superior (centro); WC dual dos piezas (der.). *Fuente: Icerabath (2025)*

En la Figura 4.5 se muestra esquema de fluxómetro para equipar WC con descargas completa o parcial. Los fluxómetros de sistema dual, como SLOAN (de 6 litros para sólidos y de 3 a 4 litros para líquidos) son apropiados para edificaciones. Con el desarrollo de repuestos es posible un sistema de descarga única en uno de opción dual.

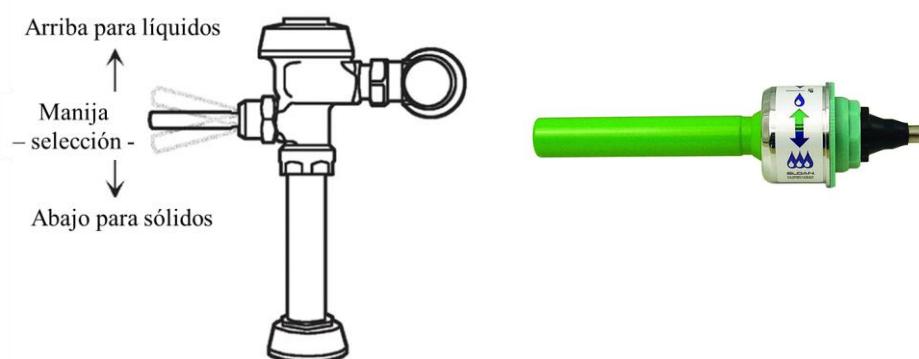


Figura 4.5 Fluxómetro dual (izq.); y elemento para acondicionar sistema dual en fluxómetros (der.). *Fuente: SLOAN REPAIR.COM (2019)*

4.2.2. Mingitorios

La Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-002-CONAGUA-2015, Aparatos y accesorios de uso sanitario (SEMARNAT, 2016), clasifica los mingitorios de acuerdo a las descargas máximas permitidas a cualquier presión: 1, 1.9, 3.0 y 3.9 litros.

Los mingitorios ahorradores más comunes de fabricantes mexicanos consumen 0.5 litros por descarga. En la figura 4.6 se muestran ejemplos. La hoja de especificaciones debe garantizar que 0.5 Lpd será el valor máximo para la presión hidráulica a que estarán sometidos.



Figura 4.6 Los mingitorios con 0.5 litros por descarga son comunes en el mercado mexicano. *Fuente: Americanstandard (2025)*

La eficiencia real se garantiza mediante mantenimiento para activación correcta y adecuada de los fluxómetros automáticos o manuales, además de contar con un programa de calibraciones periódicas.

En caso de no contar con agua residual tratada para reúso en mingitorios, una opción para ahorro de agua es el uso de mingitorios secos. En la Figura 4.7 se muestran mingitorios de tipo seco. La trampa elimina el problema de la formación de sarro y funciona como cespol para evitar malos olores. Los nuevos cartuchos cuentan con un sistema de drenado y luego sellado, eliminando emisiones de olores y consumo de agua con adecuaciones para simplificar la limpieza diaria.



Figura 4.7 Mingitorio seco (izq.), trampa de olores (centro) y cuarto de baño comercial (der.). *Fuente: SLOAN REPAIR.COM (2019)*

Otra tecnología para uso eficiente del agua, es la de mingitorio híbrido, en que la frecuencia de descarga se programa por tiempo o por un determinado número de usos. Por ejemplo, en el mingitorio de SLOAN, con sello mejorado para control de olores, el lavado es cada 72 h mediante una descarga de 4 litros. En la Figura 4.8 se muestran mingitorios híbridos.



Figura 4.8 Mingitorios híbridos con uso de agua sólo para lavado del mueble; con línea de agua para lavado para reemplazar usar toma del mingitorio tradicional (izq.) y con líneas internas para nuevas instalaciones (der.). *Fuente: SLOAN REPAIR.COM (2019)*

En las instalaciones con los fluxómetros automáticos o manuales, que no requieren de válvulas solenoide y sensores de presión, deben contemplarse revisiones periódicas para corregir: fallas en calibración, fugas por desgaste de sellos; mal uso de dispositivos manuales.

En mingitorios de pedal, de acuerdo con la Guía para el diseño de núcleos sanitarios INIFED (2012) se marcan gastos de 2 litros, máximo de 3 litros por descarga, fabricado en latón, presión de trabajo mínima de 1 kg/cm^2 (14.2 psi). Se tiene que, si los proveedores garantizan un buen servicio para el uso rudo en edificaciones, es posible disminuir los consumos por debajo de las normativas y recomendaciones.

4.2.3. WC con segregación de orina

Para zonas rurales de baja densidad de población, siguen actualizándose modelos de WC sin mezcla de sólidos y orina, y colectarlos por separado con fin de dar tratamiento por separado que simplifique el proceso de tratamiento y recuperación. Por ejemplo, los nutrientes y minerales en la orina.

En la Figura 4.9 se muestra un WC con segregación de orina. Entre las desventajas están: Carencias en los rubros de capacitación, construcción y concienciación cultural que provocan el abandono de los sistemas (Ortiz *et al.*, 2014 e Ysunza *et al.*, 2010). La gran ventaja es la recuperación de recursos para abono de suelos.



Figura 4.9 WC seco por desviación de orina: esquema (izq.), caso en Tepoztlán, Morelos (centro); evolución (der.).

Fuente: Tilley et al., 2018. Fuente: Naturalplanet, (2025)

4.2.4. Regaderas de gasto controlado

El uso de la regadera es de los servicios más demandantes de agua en unidades habitacionales y casa; la NOM-008-CNA-1998 regula que las regaderas deben descargar como máximo 10 L/min (CONAGUA, 1998).

Las regaderas tienen el grado de ecológicas cuando el gasto mínimo puede ajustarse a menos de 3.8 L/min, sin que el confort de la ducha se vea afectado (acuerdo de modificaciones a la NOM-008-CNA-1998, CONAGUA, 1998).

En México hay fabricantes reconocidos, como Helvex, que ofrecen opciones para regaderas de consumo eficiente de agua. En la Tabla 4.7, se muestran modelos de regaderas con gastos por debajo de 10 L/min y presiones de trabajo desde 0.2 a 6.0 kg/cm². De estas sólo las regaderas certificadas garantizan que el gasto no exceda de 10 L/min. Por ejemplo, en la Tabla 4.7 de la selección de modelos de regaderas de uno de los fabricantes de México, todos los modelos están declarados con un gasto nominal entre 4 y 10 L/min.

Sin embargo, sólo 7 de 11 están certificadas de acuerdo con la NOM-008-CNA-1998. De estas series se califica con un grado ecológico la regadera de chorro fijo H 100-6 con gasto mínimo de 3.25 L/min cuando trabaja a presión de 1.0 kg/cm², gastos máximos de 6 L/min a 6.0 kg/cm². Es de notarse que el intervalo desde el gasto mínimo posible al gasto máximo es de 6 a 10 L/min, con lo cual, el criterio de decisión para el usuario se torna ambiguo y se pierde el objetivo de la norma de ser una herramienta para fomentar el uso eficiente de agua. En países de Europa las regaderas de bajo consumo o ahorradoras de agua tienen un gasto entre 6 y 9 L/min. De acuerdo a WELS (Gobierno de Australia, 2009b) una nueva regadera con clasificación de tres estrellas consume 6 y 7 L/min. Para un uso de 8 minutos el consumo es de 40 % con respecto a una regadera estándar (15-25 L/min). En Estados Unidos las regaderas con uso eficiente del agua tienen un gasto promedio de 6.8 L/min. El gobierno de Ciudad de México ha promovido la distribución de uso de regaderas ahorradoras con un gasto máximo de 6.8 L/min.

En la Figura 4.10 se muestran regaderas de fabricación nacional con bajo consumo de agua. De ser posible, debe instalarse una regadera que cuente con sistema integrado para bajo consumo de agua. Por

ejemplo, las regaderas mexicanas Aquanomic Chaul ACH-11C cuenta con difusor en plástico ABS, en tres aros concéntricos que permitirán desensamblar para dar mantenimiento periódico; y cumple con la NOM-008-CNA-1998, certificado CNCP de 2007-2009, para baja, media y alta presión. La ventaja es que son diseñadas para brindar confort y eficiencia de limpieza al usuario a costos relativamente bajos. La desventaja es el riesgo de adquirir marcas que no cumplen con el control de calidad.



Figura 4.10 Regaderas de bajo consumo y dispositivo para disminución del gasto: Aquanomics (izq.), CUMNDA (der.). Fuente: Gimbelmexicana,(2025)

PROFECO (2011) realizó una investigación para reportar regaderas de acuerdo al tipo de presión y a la evaluación global de calidad, cuyos resultados se muestran en Tabla 4.8. Entre las recomendaciones de la PROFECO (2011) para adquirir regadera están:

1. Seleccionar regaderas que cuenten con sello de certificación, que garantiza su eficiencia y el ahorro de agua.
2. De acuerdo al nivel de ubicación del baño, las regaderas se clasifican en tres tipos (ver Tabla 4.9, presiones baja, media y alta). La Tabla 4.9 puede ser útil para la selección de regadera más conveniente (en el empaque debe estar indicado el tipo de regadera).
3. Es particularmente importante contar con la garantía de las compras para reclamar la sustitución o reembolso en caso de fallas de los accesorios o muebles sanitarios.

Tabla 4.9 Presión de las regaderas en los edificios. Adaptada de PROFECO, 2011

Tipo de regadera	Presión de trabajo (kg/cm ²) (m.c.a.)	Presión equivalente	
		Abastecimiento con tanque elevado. Niveles de edificación (Diferencia de altura entre ubicación de regaderas y tanque elevado)	Abastecimiento con equipo hidroneumático (kg/cm ²)
Intervalo de presión baja	0.2 a 1.0 2 a 10	1 a 4 pisos	No aplica
Intervalo de presión media	1.0 a 3.0 10.0 a 30.0	4 a 12 pisos	1.0 a 3.0 Regulado por equipo hidroneumático
Intervalo de presión alta	3.0 a 6.0 30 a 60	Más de 12 pisos	3.0 a 6.0 Regulado por equipo hidroneumático

Nota: m.c.a.; metros de columna de agua. Fuente: PROFECO, 2011

Recomendaciones de uso eficiente del agua (Adaptada de PROFECO, 2011):

- Duchas de máximo 5 minutos, no más de 19 L con regadera ecológica.
- Cerrar llaves mezcladoras a la hora del enjabonado.
- Hay que afeitarse en el lavabo con prácticas de ahorro de agua.
- Colectar agua fría de regadera para reúso en jardín, lavar ropa o en WC.
- Programar limpiezas de regadera cada seis meses o antes si se observan orificios obstruidos.
- Revisar interior de muebles sanitarios, periferia de llaves, mezcladoras y área de WC para detectar y reparar fugas visuales.
- Revisar si hay humedad en pisos o muros para identificar y reparar fugas ocultas.
- Guardar los instructivos de accesorios para dar mantenimiento.
- Usar modelos ahorreadores de agua en llaves/mezcladoras para lavabo, tarjas o fregaderos.

Una de las sugerencias de PROFECO (2011) para uso eficiente del agua es la instalación de aireadores en los grifos. Que son pequeños accesorios que se enroscan en los extremos de las tuberías donde incorporan aire al chorro de agua, reduciendo el consumo de agua (ver Figura 4.11).



Figura 4.11 Aireadores para extremos de tuberías: a) lavabos en baños comunitarios (botón temporizador 2 a 20 segundos); b) lavabos o fregaderos. *Fuente:* Coflex, (2025)

En la Tabla 4.10 se muestran resultados de como el uso de aireadores para ahorro de agua (perlizadores) catalogados de 8 y 6 Lpm logran ahorros consistentes entre 50 y 60% en lavabo de agua, con respecto al desempeño de un aireador comercial (los autores no indican marca) al aumentar la presión y llegar a 30.6 m.c.a. (3 bar) para un lavabo (La casa ecológica, 2025).

Tabla 4.10 Ahorro de agua con perlizadores en función de presión hidrostática La casa ecológica, 2025.

Elemento	Caudal (Lpm) al aumentar presión hidráulica			
	5.1 m.c.a.	10.2 m.c.a.	20.4 m.c.a.	30.6 m.c.a.
Aireador Referencia X	6.4	10.8	15.3	17.2
Perlizador Sanicus	2.7	4.6	7.2	8.2
Perlizador Long Life	1.8	3.1	4.7	5.6

Fuente: *La casa ecológica, (2014)*

García y Cortés (1989a y b) investigaron sobre la instalación de llaves equipadas con electrónica para control de apertura de válvulas con sensores de acercamiento al colocar las manos. Los autores del IMTA determinaron que para una llave actuando con sensor el promedio del caudal del lavabo era de 1.5 L/min a una presión de 0.2 kg/cm², y de 5.9 L/s con una presión de 2.5 kg/cm². La desventaja para el funcionamiento es la dependencia de una pila que debe reemplazarse con periodicidad.

En la Figura 4.12 se muestran llaves de lavabo instrumentadas con sensor de acercamiento. Los sensores de acercamiento en llaves de lavamanos, tarjas y fregaderos son una medida tanto higiénica como de control automático. Tienen una válvula automática para ahorro de agua bajo condiciones de baja, media y alta presión. El uso de componentes electrónicos exige la calibración periódica del caudal.

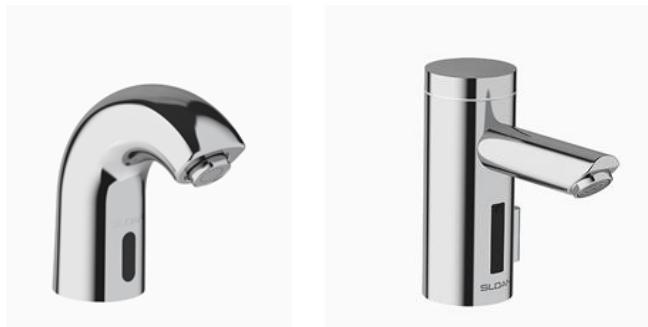


Figura 4.12 Llaves con sensor de proximidad para lavabo con descargas menores de 1.9 Lpm. Fuente: SLOAN, (2025)

4.2.5. Lavadoras de ropa

En el uso de lavadoras de ropa hay recomendaciones para lograr un uso más eficiente del agua por kilogramo de ropa lavado. De PROFECO (2007) se interpreta que: i) si ya se cuenta con lavadora de ropa, identificar y respetar las cargas recomendadas, para lograr un consumo eficiente de agua que en ocasiones es compatible con el consumo eficiente de energía eléctrica; ii) en la selección de una nueva lavadora hay que considerar costos y capacidad de las lavadoras; las de carga frontal pueden llegar a ahorrar 50 % de agua en comparación con aquellas de tina. En general, hay modelos actualizados que consumen 76 % del agua con respecto a modelos tradicionales.

En la revista del Consumidor, sección: El laboratorio PROFECO reporta lavadoras de ropa automáticas (PROFECO, 2007), se presenta la evaluación de distintos tipos, marcas y modelos de lavadoras. En la tabla 4.10 se muestra un resumen para lavadoras de 9 a 10 kg, se observa que el menor consumo de agua por kilogramo de ropa es para el segundo renglón, que es la única de tambor (Maytag/MAH5500BWW/EU). Aunque en la etiqueta de fabricante marca un consumo de 7 litros por kilogramo de ropa, en las pruebas de PROFECO con la capacidad de carga recomendada el consumo por kilogramo resultante fue ligeramente más del doble (15 litros). Si por ser las más eficientes se toma como referencia, en la penúltima columna aparece como cero aumentos (Tabla 4.11) con respecto al modelo más ahorrador, y a partir de este valor son los aumentos en L/kg para el resto de las lavadoras.

Tabla 4.11 Evaluación de PROFECO para las lavadoras automáticas con capacidad de carga de 9 a 10 kg

Marca/Modelo/ País de origen /Sistema de lavado*	Capacidad* (kg) Etiqueta de fábrica (kg)	Capacidad* (kg) Carga máxima para un lavado eficiente (kg)	Consumo específico de agua por kg -real (L/kg)	Consumo de energía por ciclo y por kg real de ropa (W/h) / kg	Evaluación global de la calidad*	Aumento en consumo de agua por cada kg respecto a un modelo más ahorrador (L/kg)	Aumento en consumo de energía por cada kg respecto a un modelo más ahorrador (W/h/kg)
LG/WF-S1061TP/Corea/ Impulsor	10	5	35	31	MB	20	0
Maytag/MAH5500BWW/ EU/Tambor	10	4.8	15	35	MB	0	4
Whirlpool/7MWT74500S Q/EU/Agitador	10	4.5	32	79	MB	17	48
Koblenz/LANK912R/Méx ico/Agitador	9	4.2	35	47	B	20	16
Koblenz/LANK911/Méxic o/Agitador	9	4.2	36	43	B	21	12
Samsung/WA11D3/Méxic o/Impulsor	10.5	4.9	52	35	B	37	4

E= Excelente; MB=Muy bien; B=Bien; R=Regular; P=Pobre. Fuente; PROFECO (2007)

Así, en el primer renglón, aunque la lavadora obtuvo una calificación igual (MB) que la antes mencionada, consume en realidad 20 L/kg más que la primera. En realidad, las capacidades de carga dada por los fabricantes se reducen a la mitad cuando se prueban en laboratorios PROFECO (2007).

La lavadora que menor consumo de agua logró por kg de ropa fue una de tambor, el resto fueron de agitador, la más cercana consumió 17 litros más por kg de ropa que la de tambor. La calificación otorgada –Muy bien– se refiere al cuidado de la ropa y no considera el ahorro de agua o energía.

En la Tabla 4.12 se muestra un resumen de lavadoras de tambor y de agitador con capacidad de carga de 11 a 12 kg, con sus respectivos consumos específicos de agua y energía, así como la calificación del cuidado de la ropa.

Tabla 4.12 Evaluación de PROFECO para las lavadoras automáticas con capacidad de carga de 11 a 12 kg

Marca/Modelo/ País de origen /Sistema de lavado*	Capacidad * (kg) Etiqueta de fábrica	Capacidad* máxima de pruebas para un lavado eficiente (kg)	Consumo específico de agua por kg probado de ropa (L/kg)	Consumo específico de energía por kg probado de ropa (W/h) / /kg)	Evaluación global de la calidad*	Aumento en consumo de agua por kg respecto al modelo más ahorrador (L/kg)	Aumento en consumo de energía por kg respecto al modelo más ahorrador (W/h/kg)
EASY/LAE11040PB/ México/ Agitador	11	5.7	37	31	MB	25	1
EASY/LIE12400PB/ México/ Agitador	12	5.9	33	30	MB	21	0
Whirlpool/7MWT967 60SW/EU/ Agitador	12	5.4	34	74	MB	22	44
GE/TL1230PLS/Méxi co/Agitador	12	4.9	41	43	B	29	13
GE/WGFL1226FWW /China/ Tambor	12	5.9	13	136	B	1	106
Koblenz/LAS1210I/E U/ Agitador	12	5.7	31	45	B	19	15
LG/WD-12270BD/Corea/ Tambor	12	6.4	17	86	B	5	56
Maytag/MAV5920E WW/ Tambor	12	6	26	63	B	14	33
Samsung/WA14L5W/ México/ Impulsor	12.5	5.5	48	37	B	36	7
Whirlpool/7MGHW9150/EU/ Tambor	12	5.9	14	40	B	2	10
Daewoo/DWC-ED1212/Corea/ Tambor	12	5.1	12	107	R	0	77

* Nota: E= Excelente; MB=Muy bien; B=Bien; R=Regular; P=Pobre. Fuente: PROFECO, (2007)

Resalta que las lavadoras que consumen 17 litros o menos de agua por kg de ropa son todas de tambor y con calificaciones igual o menor de B. De acuerdo a las pruebas de PROFECO (2007) en el último renglón se tiene la lavadora (tambor) que menor consumo de agua tiene por kg de ropa (12 litros); sin embargo, el consumo específico de energía es muy alto (77 W/h/kg), por tanto, la opción del penúltimo renglón (Whirlpool/7MGHW9150/EU/Tambor), corresponde a la lavadora que mejor combina ahorro de agua y energía, 14 L y 40 W/h por kg de ropa. Aunque le asignaron una calificación de B, por debajo de MB obtenida por tres de las lavadoras que consumen 10 L/kg más de agua y una de ellas con alto consumo energético.

Las evaluaciones de lavadoras que presenta PROFECO (2007), están ponderadas en gran medida por el cuidado de la ropa; sin embargo, es cuestionable la consideración de las eficiencias de consumo de agua y energía. Los fabricantes sugieren lavadoras con capacidad de 12 kg para familias de cuatro a cinco miembros, que de acuerdo con los resultados del estudio PROFECO (2007), representan una carga real de 5-6 kg (Tabla 4.11). Donde la sugerencia sería la opción de lavadoras de tambor.

En Tabla 4.13 se muestra el resumen de lavadoras de 13 a 14 kg. En la evaluación PROFECO (2007) sólo una de las lavadoras mejor calificadas, es eficiente en uso de agua y energía (Frigidaire/GLTF2940ES/EU /Tambor). En segundo lugar, la Samsung/WF316LAS/Corea/Tambor, que es más eficiente en agua, pero consume el triple de energía.

Tabla 4.13 Evaluación de las lavadoras automáticas con capacidad de carga de 13 a 14 kg

Marca/Modelo/ País de origen / Sistema de lavado*	Capacidad*(kg) Etiqueta de fábrica	Capacidad*(kg) Carga máxima de probada para un lavado eficiente	Consumo específico de agua por kg probado de ropa (L/kg)	Consumo específico de energía por kg probado de ropa (W/h/kg)	Evaluación global de la calidad*	Aumento en consumo de agua por cada kg respecto al modelo más ahorrador (L/kg)	Aumento en consumo de energía por cada kg real respecto al modelo más ahorrador (W/h/kg)
Frigidaire/GLTF2940 ES/EU/ Tambor	14	5.5	19	36	MB	5	10
Frigidaire/GLWS1749 AS/EU/ Agitador	14	5.5	30	58	MB	16	32
Mabe/LMA1383PB/M éxico/Agitador	13	5.3	41	37	MB	27	11
Samsung/WF316LAS/ Corea/ Tambor	14	5.9	14	55	MB	0	29
Daewoo/DWF- 260NS/Corea/ Impulsor	13	5.5	37	26	B	23	0

* Nota: E= Excelente; MB=Muy bien; B=Bien; R=Regular; P=Pobre. Fuente: PROFECO (2007)

En conclusión, para familias mayores de cinco miembros, que tengan planeado adquirir una lavadora de mayor capacidad, desde el punto de vista de usos eficientes del agua y de la energía por kilogramo de ropa lavado, convienen más:

- Lavadora con etiqueta 13-14 kg, como Samsung/WF316LAS/Corea/Tambor con capacidad máxima comprobada en PROFECO de 5.9 kg, con consumos específicos de agua y energía de 14 L agua /kg y 55 W/h/kg.
- Lavadora con etiqueta 13-14 kg Frigidaire/GLTF2940ES/EU/Tambor con capacidad máxima comprobada en PROFECO de 5.5 kg, con consumos específicos de agua y energía de 19 L agua /kg y 36 W/h/kg.
- Lavadora con etiqueta 11-12 kg, como LG/WD-12270BD/Corea/Tambor, porque la capacidad máxima probada por PROFECO es de 6.4 kg, con consumos específicos de agua y energía de 17 L agua /kg y 86 W/h/kg.

Para familias de cinco o menos miembros las opciones de lavadoras con consumos eficientes de agua y energía se recomienda:

- Maytag/MAH5500BWW/EU/Tambor cuya capacidad máxima comprobada fue de 4.8 kg y resultó la más ahoradora de agua en la etiqueta 9-10 kg de ropa, que tienen consumos específicos de agua y energía de 15 L agua/kg y 35 W/h/kg.
- Desafortunadamente la oferta para lavadoras de 9 a 10 kg es predominante para aquellas con agitador en que aumentan los consumos específicos de agua.

Al comparar la oferta de modelos de tambor contra agitador se tiene que los costos de la primera son más altos, donde tal vez cabría la posibilidad de implementar algún programa de apoyo a las familias en la adquisición. El organismo Waterwise en Inglaterra (2007), destaca mayor disponibilidad de marcas y modelos que consumen menos de 7.5 L/kg de agua, con respecto a la

oferta nacional (PROFECO, 2007), consumo considerado por Waterwise como límite máximo para una lavadora eficiente (Waterwise, 2007).

4.2.6. Reglamentación en consumos

El carácter restrictivo de los reglamentos permite el éxito en el uso eficiente del agua; planeados a largo plazo o para temporadas de escasez (Arreguín-Cortés, 1991). En la gaceta Oficial de Ciudad de México (6 de octubre de 2004) se publicaron las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas. En el inciso 2.6.5. Instalaciones hidráulicas, se lee: Las instalaciones hidráulicas de baños y sanitarios deberán tener llaves de cierre automático o aditamentos economizadores de agua; los excusados tendrán una descarga máxima de seis litros en cada servicio; las regaderas y los mingitorios tendrán una descarga de diez litros por minuto, así como los dispositivos de apertura y cierre de agua para que evite su desperdicio; los lavabos, tinas, lavaderos de ropa y fregaderos tendrán llaves que eviten más de diez litros por minuto. Además, se estipula las obligaciones de actualizar con el programa de sustitución de excusados; acondicionar las albercas con sistemas de filtración, desinfección y recirculación del agua; también se debe prescindir del uso de manguera para el lavado del automóvil y banquetas con agua potable.

4.2.7. Conciencia en el usuario

De acuerdo con Arreguín-Cortés (1991), para incentivar la participación de la ciudadanía en un programa de uso eficiente del agua, es indispensable establecer acciones de comunicación y educación. Una estrategia versátil para asegurar ahorros de agua entre 4 y 5 % es informar a la población de los objetivos, metas y resultados esperados del programa, con pequeños mensajes en los recibos de pago, medios informativos y sistema de transporte, así como campañas de adquisición de ecotecnologías (Grisham y Flemming, 1989).

Arreguín-Cortés (1991) resalta la necesidad de fortalecer un programa integral de Educación Ambiental para niveles de educación primaria y secundaria, donde se incluyan aspectos básicos como el ciclo hidrológico, de dónde viene, cómo se distribuye y cuánto cuesta el agua potable; a dónde va el agua residual de las ciudades; en especial, cubrir actividades que la población más joven pueda llevar a cabo en forma inmediata como el uso adecuado del agua en jardines, excusados, regaderas y lavabos.

Un mejor uso del agua por la población mitigaría los problemas de carencia del recurso, pero la falta de conciencia de la problemática de traer el agua desde las fuentes de abastecimiento superficial y subterráneo, le resta posibilidades de éxito a los programas por el mejor uso del agua. Las dependencias del Gobierno de Ciudad de México están obligadas a estandarizar y fortalecer un programa para sensibilizar e involucrar a la población, en el ahorro y uso eficiente del agua (Arreguín-Cortés, 1991).

4.2.8. Medición de consumos

En las ciudades la distribución porcentual del total de consumo de agua potable se divide en 71% para sector residencial, 12% en la industria, 15% en el comercio y 2% en el sector de servicios (Arreguín-Cortés, 1991). Una metodología para uso eficiente de agua en las ciudades debe incluir: i) medición, ii) detección y reparación de fugas, iii) sistemas tarifarios, iv) reglamentación, y v) comunicación y educación (Arreguín-Cortés, 1991).

La medición en las ciudades se clasifica en macro medición y micro medición. La primera se realiza en los sistemas de captación, conducción y distribución; se utiliza para planear, diseñar, construir, operar, mantener y administrar el sistema de agua potable. Mientras que la micro medición se realiza a nivel de tomas domiciliarias y se utiliza para facturar, revisar la distribución del recurso, realizar balances de masa entre demanda y abastecimiento (Arreguín-Cortés, 1991).

4.2.9. Macro medición

En la administración del organismo operador, la macro medición es fundamental para desarrollar las siguientes actividades (IMTA, 1989):

- Clasificar el sistema de distribución en sectores.
- Conocer realmente los volúmenes de agua que se utilizan diariamente en los sectores de la ciudad.
- Conocer los volúmenes de agua entregados diariamente por los sistemas de captación y distribución para compararlos con los volúmenes utilizados.
- Revisar y verificar caudales y presiones en puntos de control por sectores en la red de distribución.
- Revisar que se cumpla con el compromiso de abastecimiento de agua en toda la ciudad, con presiones satisfactorias en todos los sectores.
- Calificar la operación del sistema de agua potable a nivel sectores y ciudad.
- Retroalimentar el plan de operación para hacer ajustes en las metodologías y mantenimiento tanto preventivo como correctivo en las tuberías de conducción de infraestructura y sus equipos electromecánicos, plantas de potabilización y tanques de almacenamiento.
- Estimar el periodo en que la demanda sobrepasará la capacidad del sistema.
- Conocer los porcentajes de entrega no facturados.
- Determinar los porcentajes de pérdidas en los sistemas de producción y distribución.
- Evaluar la eficiencia de las políticas tarifarias.
- Acumular estadísticas para evaluación histórica de funcionamiento de los programas a nivel técnico y administrativo.

Sin embargo, cuando no se realizan las actividades antes citadas, la subutilización de los datos obtenidos resta utilidad a los programas de macro medición (Saavedra, 1991). Arreguín-Cortés (1991) propone un sistema de manejo de datos que incluya validación, procesamiento, almacenamiento y recuperación que permita la elaboración, entrega y revisión de informes periódicos para evaluar las

actividades técnicas y administrativas. El sistema de macro medición debe contar con programas de mantenimiento a) preventivo, con renovaciones planeadas de los componentes para lograr mediciones precisas y confiables; y b) correctivo, imprevistos a corregir que deben ser los menos si se tiene un plan correctivo (Arreguín-Cortés, 1991).

Los sistemas de automatización permiten controlar los macro medidores de forma eficiente, ya que concentran en un sitio determinado en forma automática la información de los medidores, desde donde la procesan y ligan a la operación del sistema de agua potable y alcantarillado (Arreguín-Cortés, 1991) (ver Figura 4.13).

4.2.10. *Micro medición*

La micro medición influye en la reducción del consumo de agua domiciliario hasta 25 % en áreas que no contaban con medición (Grisham y Flemming, 1989).

En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Ochoa, *et al.* (1990), evaluaron el impacto de la micro medición en los usuarios de una ciudad. En una primera etapa instalaron medidores en tres sectores socioeconómicos diferentes sin avisar a la población; en una segunda etapa se instalaron medidores, previo aviso, a la misma población y avisando de la facturación por volumen consumido. De los recibos bimestrales se concluye que el consumo poblacional disminuyó 25 %, y el cambio significativo fue con la disminución de 50 % por la clase media.

Entre las ventajas de instalar medidores se tienen, según Arreguín-Cortés (1991):

- Mejor distribución de las dotaciones diarias de agua.
- Planeación de inversiones y coberturas del recurso.
- Búsqueda y logro de un servicio continuo.
- Mejor relación costo/operación.
- Mayor control y prevención de fugas.
- Elaboración de estadísticas del consumo diario *per-cápita* de los distintos sectores de la población.

La efectividad de las inversiones de implementación y operación de la micro medición se puede evaluar en función del mejoramiento del servicio de abastecimiento a los distintos sectores de la población (Arreguín-Cortés, 1991).

El plan de implementación de micromedidores (Arreguín-Cortés, 1991) incluye factores como:

- a) Tomas domiciliarias de los sectores.
- b) Costos de inversión, operaciones técnicas y administrativas.
- c) Transportación de bienes y personal.
- d) Caudal y calidad del agua.
- e) Distribución de consumos por tomas y por sectores.
- f) Estadísticas actuales de consumo.

4.2.11. Metodología

Como se mencionó en los capítulos anteriores, para tener un ahorro de agua real, es necesario tomar una serie de acciones en conjunto, las cuales, si se toman de manera separada, no tendrán los resultados satisfactorios reportados en la literatura y en los diferentes experimentos realizados. También, es necesario resaltar que se requiere una intensa y permanente campaña de comunicación donde se haga hincapié en la importancia del uso eficiente y en el ahorro que los usuarios pueden hacer del recurso del agua. Esto creará conciencia en el usuario si se incluyen campañas de educación de lo que puede suceder en nuestro entorno de seguir con los consumos que actualmente se tienen.

En lo que respecta a los dispositivos ahorreadores de agua, se recomienda instalar varios tipos de ellos en un lote piloto (como, por ejemplo: WC, economizadores para regadera, economizadores para llave, etc.); micromedidores que permitan comparar la bondad del funcionamiento de cada accesorio, así como el ahorro de agua y el consiguiente ahorro económico. Midiendo es la única manera que se tiene para comparar los ahorros globales. La instrumentación para evaluar los consumos y ahorros de agua podrían implementarse en edificaciones de algunas dependencias del Gobierno de Ciudad de México, como la Secretaría del Medio Ambiente y preparatoria del Instituto de Educación Media Superior. En la Figura 4.13 se muestran varias formas en las que se puede ahorrar agua.



Figura 4.13 Metodología para el ahorro de agua por los usuarios. Fuente: Adaptado de Arreguín Cortés, 1991

Al licitar la construcción de desarrollos, hay que especificar el tipo de accesorios y muebles para baño y cocina, acordes con el ahorro del agua, pero tomando en cuenta su ubicación y poder adquisitivo de la familia a la cual se destina el bien, por ejemplo, en la zona poniente de Ciudad de México para

algunas colonias con población de alto ingreso económico se tienen presiones altas en la red de suministro de agua potable; en cambio, en la zona oriente sucede todo lo contrario; la situación mencionada incide en el costo total del inmueble, incluyendo la calidad y costo de los accesorios y muebles que se instalen en baños y cocinas.

Por último, para cuidar la calidad de los materiales, equipos, etc., es necesario que, de ser posible, todos los fabricantes cuenten con laboratorios donde se certifique que cumplen con las especificaciones que fijan las normas. Aspecto que debe revisarse en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Adicionalmente, hay que considerar el posible uso de mingitorios que no utilizan agua en los muebles de baño, con su instalación se disminuirá visiblemente el consumo de agua.

4.3. Tecnologías para el aprovechamiento del agua pluvial

El agua de lluvia puede ser captada, colectada, tratada y almacenada en depósitos especiales para su uso posterior. Las ventajas de esta práctica son:

- Proteger los recursos de agua potable al reducir la demanda de agua potable mediante el uso alternativo del agua de lluvia.
- Reducir la demanda de agua potable, en consecuencia, el costo de su tratamiento.
- Reducir el uso de energía, considerando que el agua para uso potable está sujeta a una serie de procesos que demandan energía, que inicia en la fuente, continúa a través del sistema de tratamiento y concluye en el sitio de su demanda.
- Reducir el peligro de inundaciones, porque un sistema alternativo para uso del agua de lluvia requiere de sistemas de almacenamiento que a su vez amortiguan los escurrimientos pico.
- Ayudar a mantener el nivel de las aguas freáticas al disminuir la demanda de agua potable en zonas con fuentes que son subterráneas.
- Reducir la demanda de agua proveniente de otras cuencas, por consiguiente, la disminución de costos.

Entre la información requerida para llevar un seguimiento y control del sistema de captación de aguas pluviales en Ciudad de México, es recomendable llevar un registro con los datos que a continuación se especifican:

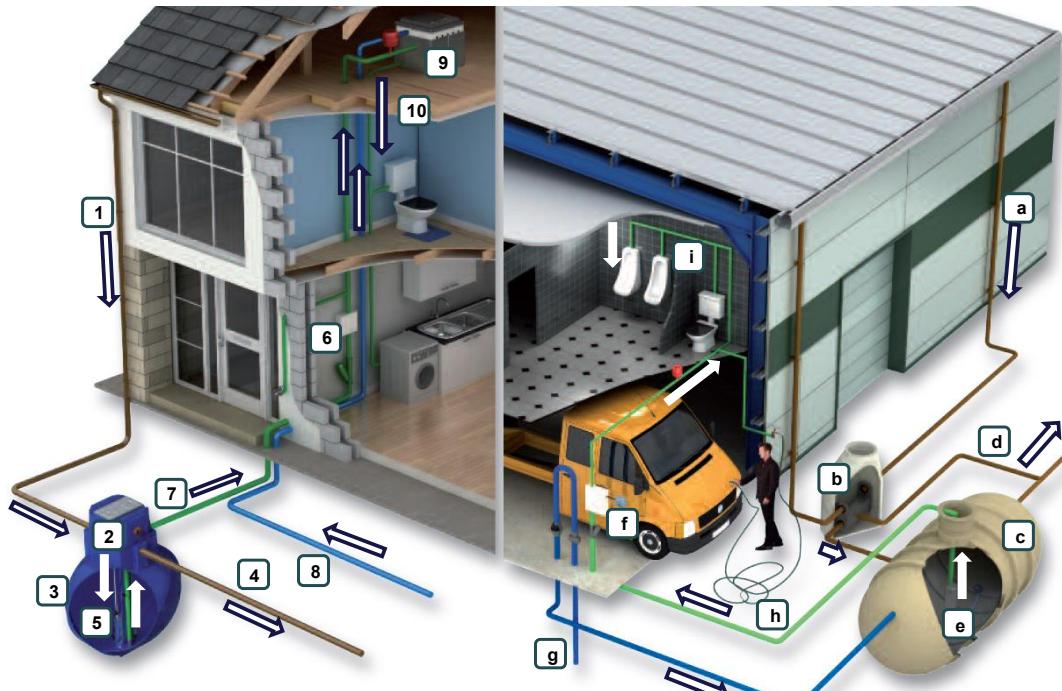
- Información climatológica:
 - Precipitación media por año.
 - Precipitación mínima por día.
 - Precipitación máxima por día.
- Información por uso de suelo:
 - Demandas diarias por tipo de uso.

- Reconocimiento de infraestructura urbana:
Espacio para tanques de almacenamiento.
Existencia de drenaje pluvial.
Superficies de captación.
Superficie de riego disponible.
- Disponibilidad de tecnologías:
Esquemas de sistemas alternativos para uso de agua pluvial.

La delimitación de las áreas de captación de lluvia, para abastecer al sistema alternativo de agua en servicios como WC, incluso en lavadoras de ropa previa evaluación de la calidad del agua, presenta la ventaja de que minimiza la contaminación del agua por escurrimento y facilita su tratamiento.

4.3.1. Integración del sistema alternativo para uso de agua de lluvia en edificaciones

En la Figura 4.14 se muestran las imágenes con esquemas típicos que se utilizan en otros países para promover los sistemas alternativos de uso de agua pluvial en WC, lavado de ropa, llaves de jardín en viviendas o el uso alternativo en servicios sanitarios, así como lavado de automóviles, entre otros usos, en edificaciones distintas a la vivienda.



a) Sistema alternativo con bajada por gravedad hacia servicios.

b) Sistema alternativo con bombeo hacia servicios.

Figura 4.14 Sistemas para uso alternativo de agua de lluvia en WC, lavado de ropa y automóviles. *Fuente:* Kingspan, (2009)

En la Figura 4.14, el agua de lluvia que se capta en la azotea fluye a lo largo de un canal, luego, baja mediante una tubería donde se instala un filtro de autolimpieza que remueve sólidos suspendidos en el agua de lluvia, antes de caer en la cisterna. Mediante una bomba se succiona el agua más limpia de la cisterna, lo cual garantiza el suministro del agua con mejor calidad que se disponga en cada momento, evitando turbulencias y agitaciones innecesarias. Ante insuficiencia de agua de lluvia, el sistema se alterna con agua potable. Este esquema representa la variante del sistema alternativo en que el agua de lluvia se conduce hacia un tanque elevado, desde ahí, se distribuye a los muebles sanitarios y a servicios (Kingspan Water, 2009).

El sistema alternativo que se muestra en la Figura 4.14^a, en que los muebles o servicios se abastecen por gravedad, está compuesto por: 1) bajada de agua pluvial; 2) filtro auto limpiable para separación de sólidos; 3) cisterna de almacenamiento; 4) desviación de gastos picos hacia red de alcantarillado pluvial; 5) bomba sumergible o de cárcamo seco para impulsar el agua colectada hacia un tanque elevado; 6) caja de control con válvulas solenoides y conexiones a sensores de nivel en cisterna y tanque elevado para alternar el bombeo de agua de lluvia en vez de agua potable hacia tanque elevado; 7) línea de conducción de agua de lluvia; 8) línea de conducción de agua potable; 9) tanque elevado controlado con sensores de nivel conectados a la caja de control y 10) bajada por gravedad hacia muebles o servicios (Kingspan Water. 2009).

En la Figura 4.14b, la diferencia consiste en que los muebles o servicios son abastecidos por un sistema a presión (hidroneumáticos) y se descarta el uso de un tanque elevado (Australian Government National Health and Medical Research Council, 2004; Dupont, P. 2008; Kingspan Water, 2009). Cuando la lluvia es insuficiente y la cisterna se vacía, el sensor de nivel manda señal a la caja de control que abre la válvula solenoidal para permitir el paso de agua potable. El agua potable se conduce entonces hacia la misma cisterna que el agua de lluvia. En época de lluvia cuando la cisterna alcanza el nivel máximo de agua, el interruptor de nivel cierra la válvula solenoidal de agua potable y los muebles son abastecidos nuevamente con agua de lluvia.

En la Figura 4.14b se muestra el esquema de un sistema alternativo en que los muebles o servicios se abastecen por un sistema bajo presión (hidroneumático) cuyos componentes son: a) bajada de agua pluvial; b) filtro autolimpiable para separación de sólidos; c) cisterna de almacenamiento; d) desviación de gastos picos de lluvia hacia red de alcantarillado pluvial; e) sistema hidroneumático para abastecimiento a presión de servicio con agua de lluvia en vez de potable; f) caja de control con válvulas solenoides y conexiones a sensores de nivel en cisterna cerrada, con paso de agua potable hacia cisterna con posibilidad de alternar el servicio sanitario con agua de lluvia filtrada; g) línea de conducción de agua potable hacia cisterna; h) línea de conducción de agua de lluvia o agua potable desde sistema hidroneumático e i) líneas de distribución del sistema alternativo de agua de lluvia o potable a servicios sanitarios y otros usos (Kingspan Water. 2009).

En la Figura 4.15 se presenta el esquema de requerimientos para un diseño actualizado de un sistema alternativo para manejo de aguas pluvial y potable. Donde, los principales componentes del sistema son:

1. Conducción de agua de lluvia del techo hacia un primer filtro para desbaste.
2. Registro.

3. Filtro de desbaste con una segunda malla para retención de sólidos menores.
4. Sifón de desagüe con protección contra roedores.
5. Desagüe de excedencias.
6. Deflector de entrada para disminuir turbulencia.
7. Bomba sumergible con flotador.
8. Interruptor de nivel para la válvula.
9. Tubería de conducción.
10. Tubería de abastecimiento de agua de lluvia de la bomba de control.
11. Soporte en la pared.
12. Abastecimiento de agua potable.
13. Válvula principal tipo solenoide.
14. Tubería principal de agua al conducto del servicio.
15. Control de bomba sumergible con interruptores de encendido y apagado.
16. Conexión del agua de lluvia a muebles o servicios.
17. Cables principales.

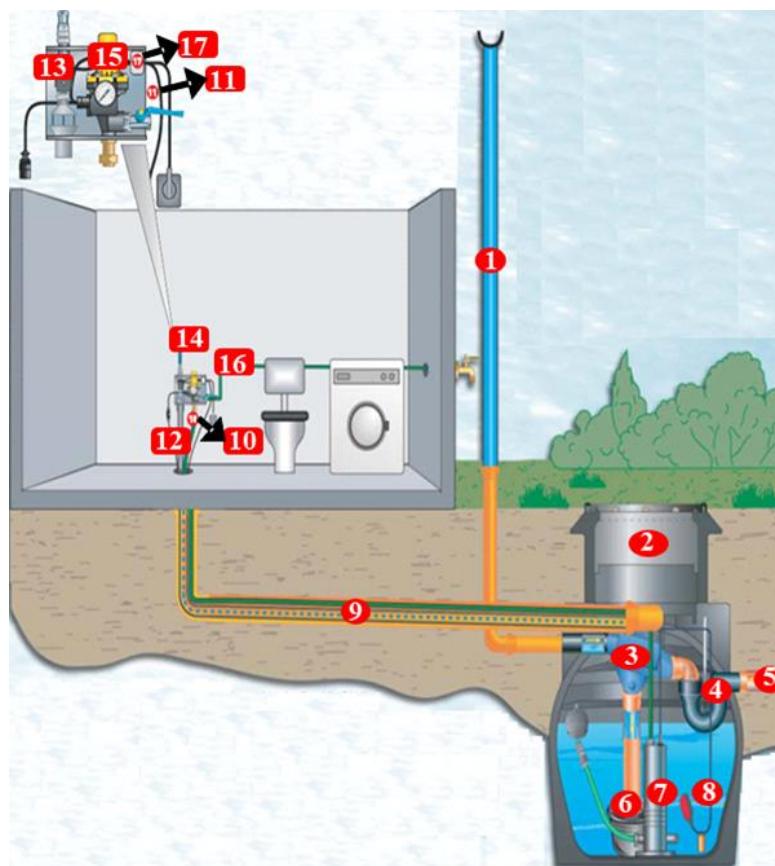
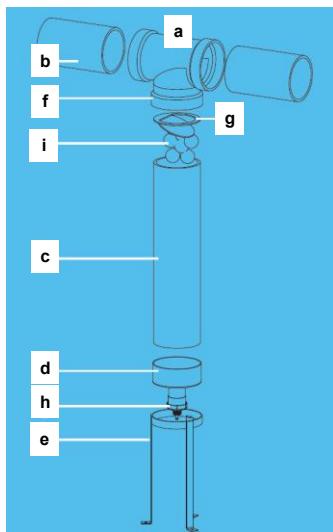


Figura 4.15 Arreglo de un sistema tecnificado para el uso eficiente de las aguas pluviales. Fuente: *Freewater UK Ltd, 2007*

4.3.2. Elementos del sistema para recuperación de agua de lluvia

-Sistema de desvío del primer escurrimiento

Los primeros milímetros de lluvia arrastran sólidos contaminantes de las azoteas. La implantación de trampas para el primer escurrimiento permite la remoción de las partículas de mayor densidad (Figura 4.16).



- a. Una Te.
- b. Línea principal.
- c. Cámara de desvío.
- d. Tapa con rosca.
- e. Soporte.
- f. Unión de la T.
- g. Válvula de presión.
- h. Tapa con rosca y conector.
- i. Flotadores.

Figura 4.16 Elemento para trampa de contaminantes en primer escurrimiento. *Fuente: Rain Harvesting, 2009*

La trampa para separar el primer escurrimiento de lluvia puede instalarse en cada bajada de aguas, o ser de mayor capacidad para recibir el agua de una serie de bajadas de agua (Rain Harvesting, 2009). Esta trampa en la colección del escurrimiento evita que el primer escurrimiento de agua de lluvia, que contiene contaminantes del techo, continúe el trayecto a la cisterna del sistema alternativo (ver Figura 4.16).

El sistema de desvío del primer escurrimiento de agua de lluvia utiliza un flotador y un sistema de trampa. A medida que el nivel del agua sube en la cámara del sistema de desvío, las esferas del flotador sellan la cámara cuando el nivel asciende al máximo, previniendo que las excedencias entren a la cisterna. El flujo posterior de agua se dirige automáticamente a lo largo del sistema de tuberías hacia el depósito. Una válvula de alivio lento (dren) garantiza que la cámara se vacíe después de la lluvia y se restablece automáticamente la capacidad para esperar de nuevo un primer escurrimiento.

Características y beneficios (Rain Harvesting, 2009):

- Fácil instalación.
- Sin partes mecánicas.
- Fácil monitoreo.
- Instalado en la bajada de la canaleta o por medio de un arreglo en T a un sistema de PVC de 225mm.
- Mantenimiento mínimo.
- Volumen de la cámara para desvío de primer escurrimiento.

La Tabla 4.14 es una guía para determinar el volumen de agua a la trampa de desvío.

Tabla 4.14 Volúmenes específicos requeridos para trampa de primer escrimento.

Nivel de contaminación	Volumen específico
Contaminación mínima: Campo abierto, sin áboles, sin excrementos de aves.	0.5 L/m ² de superficie.
Contaminación mayor: Hojas, basura, excremento de pájaros, insectos muertos.	2.0 L/m ² de superficie.

Fuente: Rain Harvesting, (2009)

El volumen de la cámara de desvío se vacía a través de un conector capilar en el fondo; mientras que los sólidos retenidos se remueven al desmontar la tapa con rosca de la base. Una operación de limpieza frecuente permitirá separar los sólidos o basura que cae sobre los techos entre lluvias. Por ejemplo, un techo muy contaminado de 100 m² ocupa trampas de desvío de 200 litros.

- Filtros

Los filtros impiden el ingreso de sólidos en suspensión a las cisternas de agua de lluvia, con esto, se evita sedimentación y procesos fermentativos del material orgánico que causaría mal olor. La descarga del filtro se conecta a la conducción hacia la cisterna; mientras que los sólidos separados o se conducen hacia la red de drenaje o bien son expulsados del filtro. En la Figura 4.17 se muestra un filtro autolimpiable que expulsa el material retenido separado hacia el drenaje.

En la Figura 4.18 se muestra un filtro para lluvia donde los sólidos que se retienen son desecharados por la apertura frontal, mientras que las aguas filtradas de lluvia continúan su trayecto a través del tubo vertical, el modelo de 3P Technik (3P, 2023), México, permite equipar sistemas que aún no cuentan con un filtro, tiene una cobertura para 70 m² de superficie de lluvia a caudal máximo de 0.6 L/s. Una vez evaluada la calidad del agua filtrada, puede usarse para lavado de ropa, WC, o almacenarse para riego de jardín. El funcionamiento del filtro de la Figura 4.18 corresponde a:

1. La disminución de la velocidad del agua de lluvia mediante las superficies transversales.
2. El amortiguamiento de la turbulencia.
3. El borde de rebote para que el agua de lluvia ingrese a través de aperturas.
4. Que las aperturas impiden el paso tanto de hojas como de sólidos gruesos y se desechan por la parte frontal.
5. Que por debajo de las aperturas gruesas se encuentra la criba fina que clasifica sólidos más pequeños.
6. Que el material que no pasa a través de los filtros es desecharado por la salida de residuos.

Una opción para menores áreas de captación es el filtro de agua de lluvia para montaje en la cisterna de agua de lluvia (Figura 4.19). El principio de limpieza e maneja en dos etapas: los sólidos más pequeños se retienen en la malla inferior, también, son desecharados en continuo. Cuenta con una capacidad de conexión según DIN (1986) hasta 150 m² de superficie de techo con una intensidad de

lluvia $300 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ y ancho de malla $0.7 \times 1.7 \text{ mm}$. Donde: 1) el agua de lluvia se conduce al primer nivel de filtro; 2) los sólidos retenidos en el filtro grueso son expulsados hacia la canalización del drenaje; 3) el agua de lluvia prefiltrada pasa al segundo nivel de limpieza en filtro fino; 4) el agua de lluvia filtrada se conduce a través de la bajada hacia la caja de entrada para control de turbulencia.



- 1- el agua de lluvia se conduce por el tubo en el lado interior del cartucho y los sólidos se retienen en el filtro;
- 2- el agua pasa a través del filtro;
- 3- el agua filtrada fluye por la ranura colectora de salida;
- 4- el agua filtrada se conduce hacia la cisterna de agua de lluvia; y
- 5- los sólidos son expulsados hacia la canalización (drenaje).

Figura 4.17 Filtro autolimpiable para tubo de bajadas de lluvia. *Fuente:* 3P, 2023

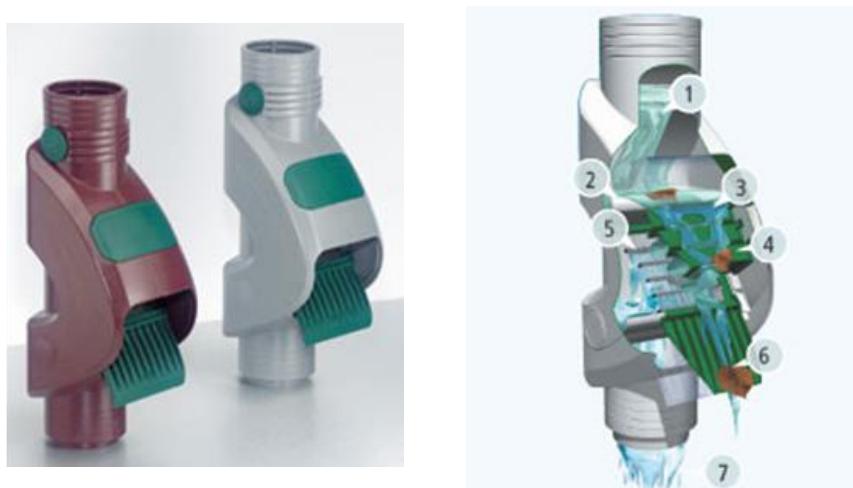


Figura 4.18 Filtro autolimpiable con expulsión frontal de sólidos retenidos. *Fuente:* 3P, 2023



Figura 4.19 Filtro auto-limpiable de agua de lluvia para integrarse en la cisterna. *Fuente: Rainharvest, (2009)*

Se tienen filtros de mayor capacidad, cuyo principio de limpieza de dos niveles (limpieza gruesa y fina) alcanzan un alto grado de rendimiento. Debido a la inclinación calibrada del filtro se lavan los sólidos retenidos, de manera continua, hacia el drenaje (Figura 4.20).

1. Un vertedor (1) de llegada distribuye el caudal sobre rejilla gruesa (2).
2. El agua pasa a través de rejilla gruesa (2), mientras que los sólidos gruesos son lavados y caen en tuberías (5) que conduce el material contaminante hacia el drenaje.
3. El agua, libre de sólidos gruesos, cae sobre criba fina (tamaño de malla de 0.65 mm). Donde el agua filtrada pasa y se colecta en tuberías (4) que conduce hacia cisterna; los sólidos finos retenidos son arrastrados de forma continua hacia tubería (5) que conduce a drenaje.

Existe gran número de fabricantes de filtros exteriores autolimpiables para aguas de lluvia captadas en azoteas de edificios y explanadas; en la Figura 4.20 se muestran modelos para retener partículas mayores que 0.65 mm. Los filtros tienen capacidad, según DIN 1986, para un área de aportación máxima de 350 m^2 con una intensidad de lluvia de 300 L/s·ha . La criba de acero inoxidable no necesita renovaciones, basta desmontar la tapa para efectuar limpieza antes y después de temporada de lluvias.



Figura 4.20 Dispositivo para desviación de primeros escurrimientos. *Fuente: 3P, 2023*
- Tanque de almacenamiento de agua de lluvia (cisterna)

En la cisterna se almacenan las aguas pluviales a fin de utilizarlas posteriormente. Cuando ésta se llena, las excedencias van al sistema de alcantarillado. El material de construcción de la cisterna dependerá de volúmenes y proyecto de ingeniería: a) hay modelos de cisternas de catálogo con capacidades de 0.5 a 5 metros cúbicos, ver Figura 4.21, como ROTOMEX fabricadas con resina de polietileno aprobado por la FDA (Food and Drug Administration) adecuada para almacenamiento de agua; b) cisternas de gran volumen pueden construirse como un contenedor único o en serie, Figura 4.22 (izq.); o bien utilizar paneles plásticos, con gran volumen de espacios vacíos, para dar resistencia estructural, ver Figura 4.22 (der.).



Figura 4.21 Cisternas de polietileno disponibles (Rotomex) *Fuente: ROTOMEX® (2023)*



Figura 4.22 Cisternas para almacenamiento de agua de lluvia: de una pieza (izq.), o con elementos plásticos para dar resistencia y construir en sitio (der.). *Fuente: Wisy-water (2025)*

- Deflector de entrada para amortiguar turbulencia

Los deflectores de entrada controlan la turbulencia que genera la caída de agua de lluvia, así se evita que los sedimentos de la base de la cisterna se suspendan (Figura 4.23).



Figura 4.23 Deflectores para amortiguar turbulencia en la bajada a cisterna: pequeñas (izq.), y grandes (der.).
Fuente: 3p (2025)

-Toma flotante

En caso de que ingresen sólidos suspendidos a la cisterna, la extracción de agua de la cisterna puede hacerse a 15-20 cm del espejo de agua mediante el uso de una *pichancha* (Válvula de no retorno) sujetada a un sistema de flotación con una distribución de lluvia de 300 L/s/ha (ver Figura 4.24).



Figura 4.24 Flotador y pichancha para manguera de succión. *Fuente: 3p (2025)*

- Sifón de rebose para excedentes

Un sistema de sifón con rebose, cuando se llena la cisterna, permite que escape cualquier nata flotante (por ejemplo, de polen), acondicionado para evitar la entrada tanto de olores, como roedores o agua de la alcantarilla (Figura 4.25).



Figura 4.25 Sistema de sifón para excedentes (izq.); y trampa de olores y roedores. *Fuente: 3p (2025)*

- Bombas

Para extracción del agua de cisterna, se pueden utilizar bombas centrífugas sumergibles o de cárcamo seco (Figura 4.26).



Figura 4.26 Opciones de bombas para cisternas: sumergible (izq); *Fuente: Argal.(2025)*

4.3.3. Panel de control para activar e inactivar válvulas y bombas

La forma más económica, pero menos práctica de controlar el sistema alternado por agua de lluvia y potable es mediante válvulas de operación manual; inicia la lluvia, se cierra la válvula que abastece de agua potable a la cisterna y se abre la entrada para agua de lluvia.

El sistema automático debe estar diseñado para proteger tuberías y bombas de posibles golpes de ariete; también, para proporcionar ciclos de bombeo adecuados (Figura 4.27). El panel de control detecta cuando la cisterna no tiene suficiente agua pluvial; el controlador permite la entrada de agua de la red de agua potable; finalmente, cuando el agua pluvial entra de nuevo a la cisterna, los controladores cierran el paso al agua potable y la bomba succiona de nuevo agua pluvial.



Figura 4.27 Control automático de bombas y válvulas. *Fuente: Rain Harvesting, (2009)*

El panel de control (Rain Harvesting, 2009) garantiza un caudal constante a lavadoras, WC, manguerías, riego y otros usos. El abastecimiento es controlado por sensores de nivel eléctricos, válvulas solenoides y un panel de control (ver Figura 4.28).

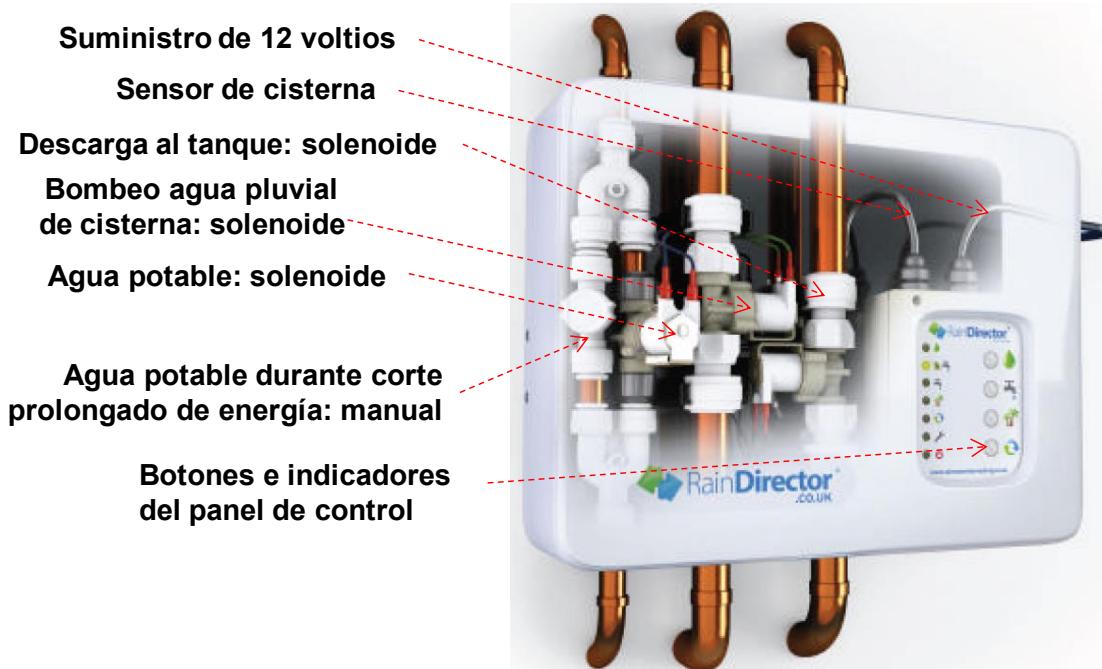


Figura 4.28 Panel de control para el sistema alternado agua potable-agua de lluvia. *Fuente: Rain Harvesting, 2009*

En el arreglo de Rain Harvesting (2009) el tanque elevado sólo se llena una vez que está completamente vacío, por lo que se reduce el uso de la bomba y el consumo de energía eléctrica. Provee un caudal constante por gravedad.

El panel de control de válvulas de 12v (ver Figura 4.28) (Rain Harvesting, 2009) controla el suministro de agua-agua de lluvia o de la red. Proporciona un sencillo conjunto de botones para ajustar la operación. La opción de controlar el flujo de agua utilizando el Panel de control (Figura 4.28) de válvulas que actúan con energía de 12v trae una serie de beneficios:

- Ahorro de energía y prolonga la vida de la bomba.
- Asegura el suministro de agua durante un corte de energía.
- Son controles de baja tensión y no hay ruido de la bomba interna.

En una vivienda típica la bomba sólo se activará una vez al día. Menos electricidad es utilizada, la bomba sufre menos desgaste. La función de autovaciado detecta cuando no hay consumo de agua y vacía el tinado cada tres días. El agua no utilizada se devuelve al tanque de almacenamiento subterráneo de agua de lluvia. Cuando comienza a usar el agua, el sistema vuelve a modo de lluvia de forma automática.

4.3.4. Variantes para el sistema alternado agua potable-agua de lluvia

En las Figuras 4.29 a 4.32 se muestran opciones para esquemas de sistemas alternativos de uso de agua de lluvia, éstos poseen sistemas de control automático por sensores de nivel y válvulas para sustituir el uso de agua potable en muebles sanitarios (WC o mingitorios) y servicios como riego de jardines, lavado de ropa o lavado de automóviles. Lo anterior en función del tipo de uso de las edificaciones. El esquema muestra una desviación para contener los primeros escurreimientos que lavan las superficies colectoras. En esta trampa se colectan los sólidos y contaminantes esparcidos sobre los techos. El drenado de este contenedor es a través de un pequeño orificio que regula su salida.

El agua de lluvia pasa a través de un filtro y se conduce hacia la cisterna. La caja de control de válvulas recibe la señal de los sensores de nivel en la cisterna de colección de agua de lluvia:

- Mientras el sensor detecte un nivel de agua de lluvia en la cisterna, la bomba abastecerá a los servicios que la demanden.
- Si el agua de lluvia se agota en la cisterna, entonces se permite el paso de agua potable hacia los muebles como: WC, mingitorios, lavadoras o sistemas de irrigación, a la vez que se cierra la válvula que permite el suministro de agua de lluvia. Entonces, se alterna el uso de una red común que distribuye tanto agua potable como agua de lluvia hacia los muebles o servicios que soportan la calidad del agua de lluvia.

En la Figura 4.29 se muestra un esquema de sistema automático en que se incorpora el uso de agua residual tratada para WC.

En la Figura 4.30 se muestra la modificación del sistema alternativo automático en que se sustituye la caja de control de válvulas por una válvula de operación manual.

Para edificaciones distintas a la vivienda el sistema opera bajo el mismo principio, con los muebles o servicios que correspondan (ver Figura 4.31).

En el caso de viviendas, uno de los principales potenciales es el uso de agua de lluvia para lavadoras, para esto el sistema de filtración previo a la cisterna se puede complementar con la incorporación de filtros de cartucho que contienen carbón activado. Estos últimos se instalan a la salida de la cisterna o de la bomba que abastece a las lavadoras.

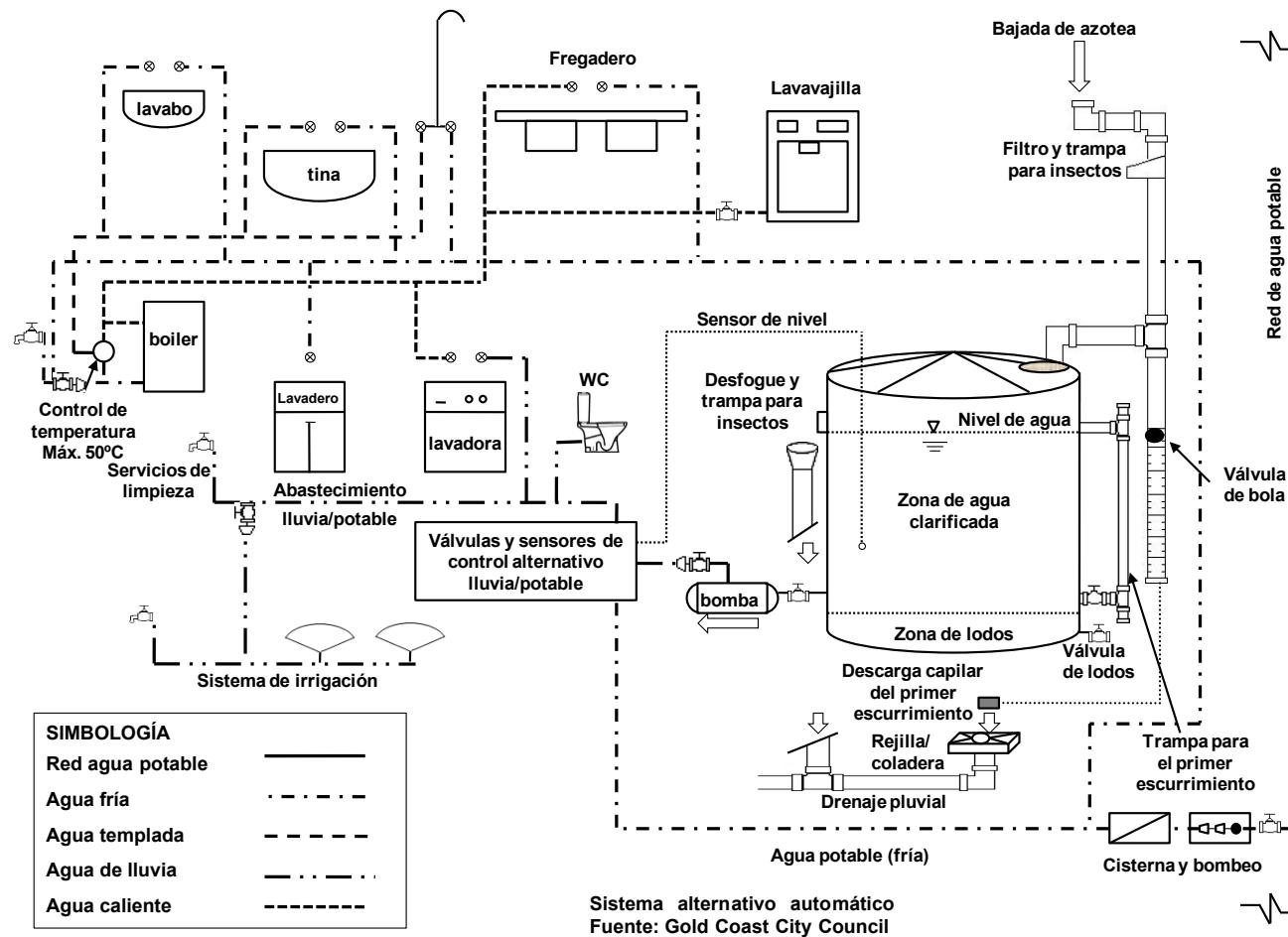


Figura 4.29 Esquema general para un sistema que alterna el uso de agua de lluvia y agua potable mediante un control automático. *Fuente: Gold Coast City Council, 2005*

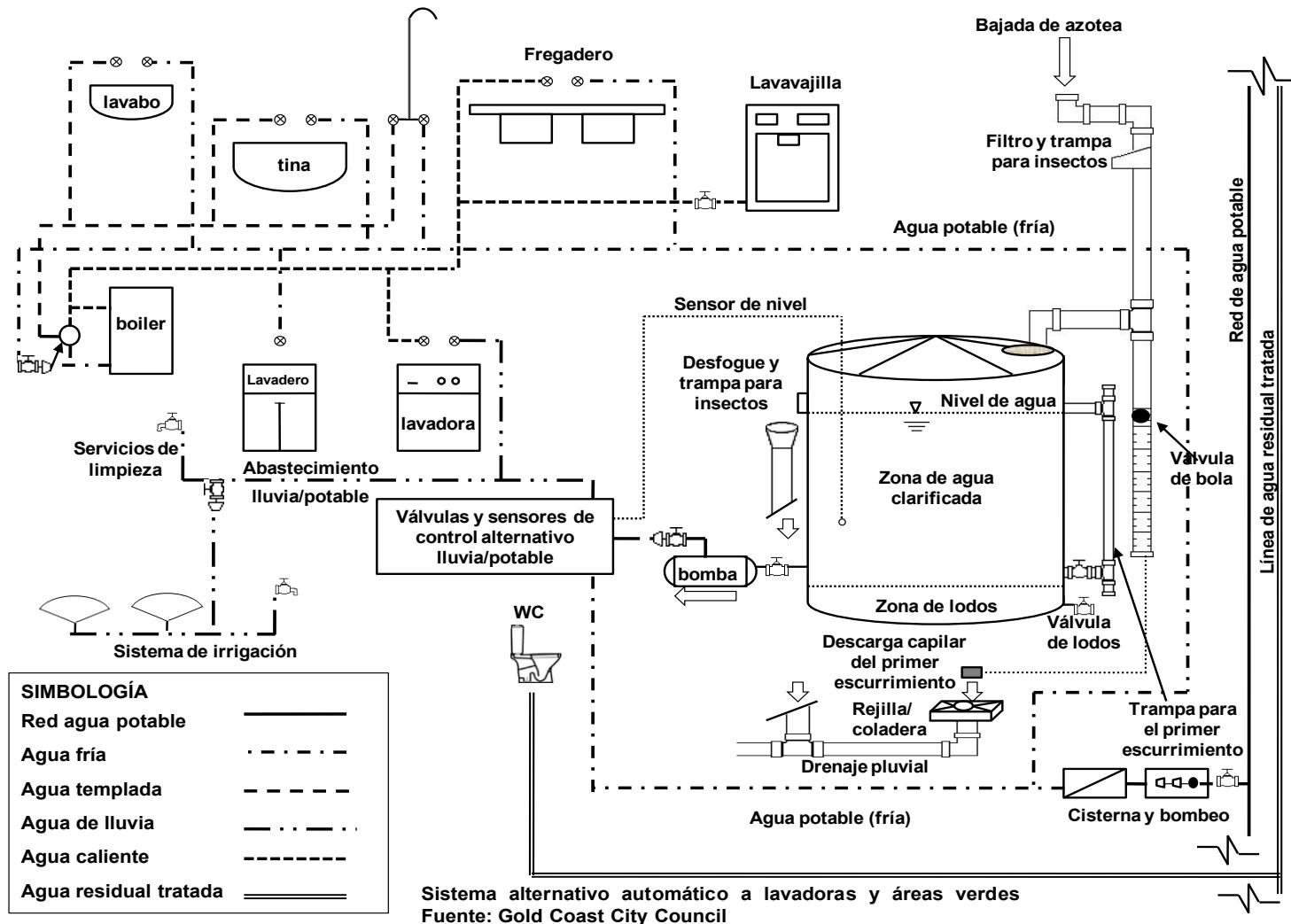


Figura 4.30 Esquema general para un sistema alternativo de agua de lluvia y agua potable bajo control automático para lavado de ropa y áreas verdes; se utiliza agua residual tratada para WC. *Fuente: Gold Coast City Council, 2005*

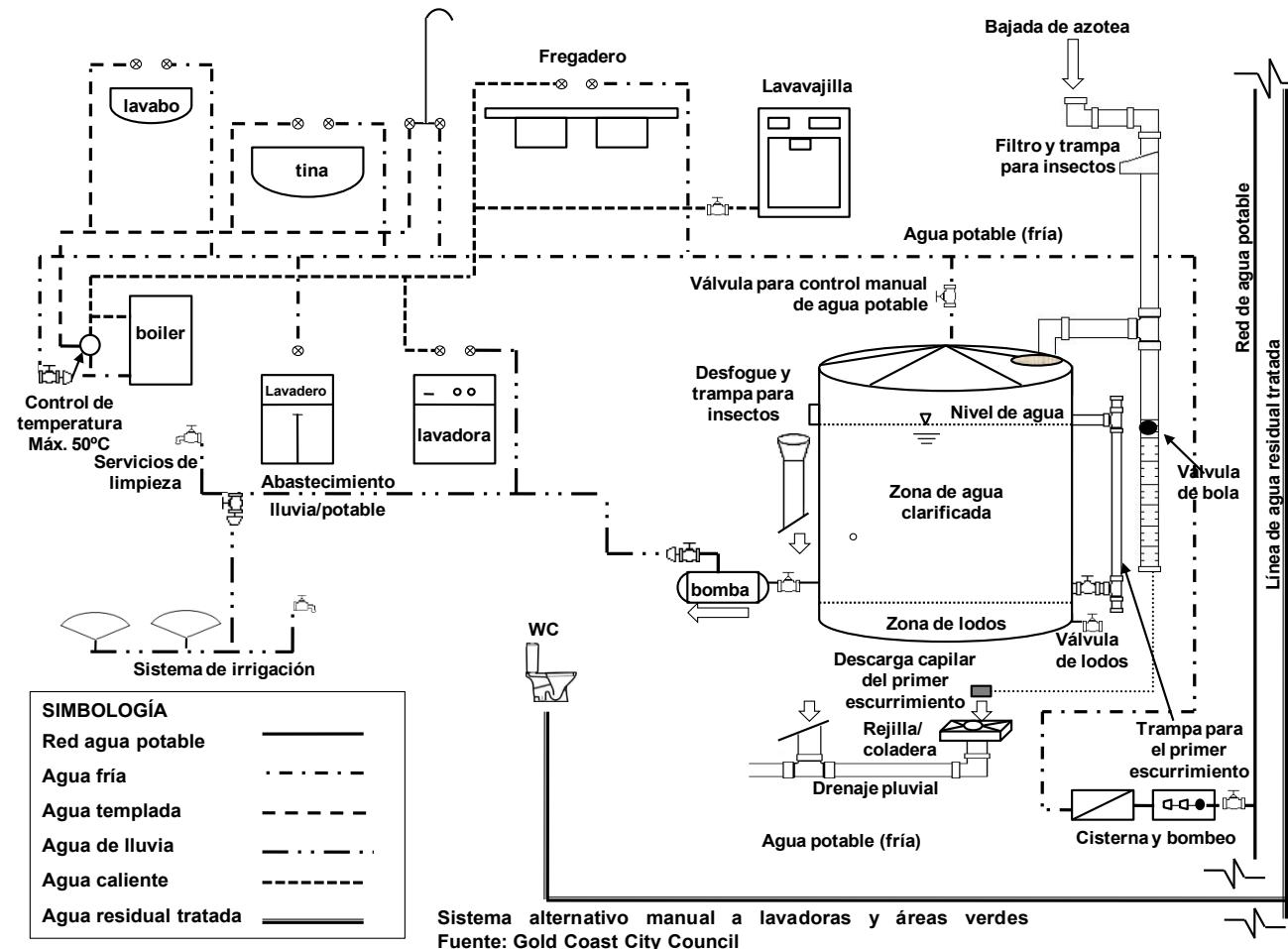


Figura 4.31 Esquema general para un sistema en que se alterna el uso de agua de lluvia con agua potable mediante control manual; se utiliza agua residual tratada para WC. *Fuente: Gold Coast City Council, 2005*

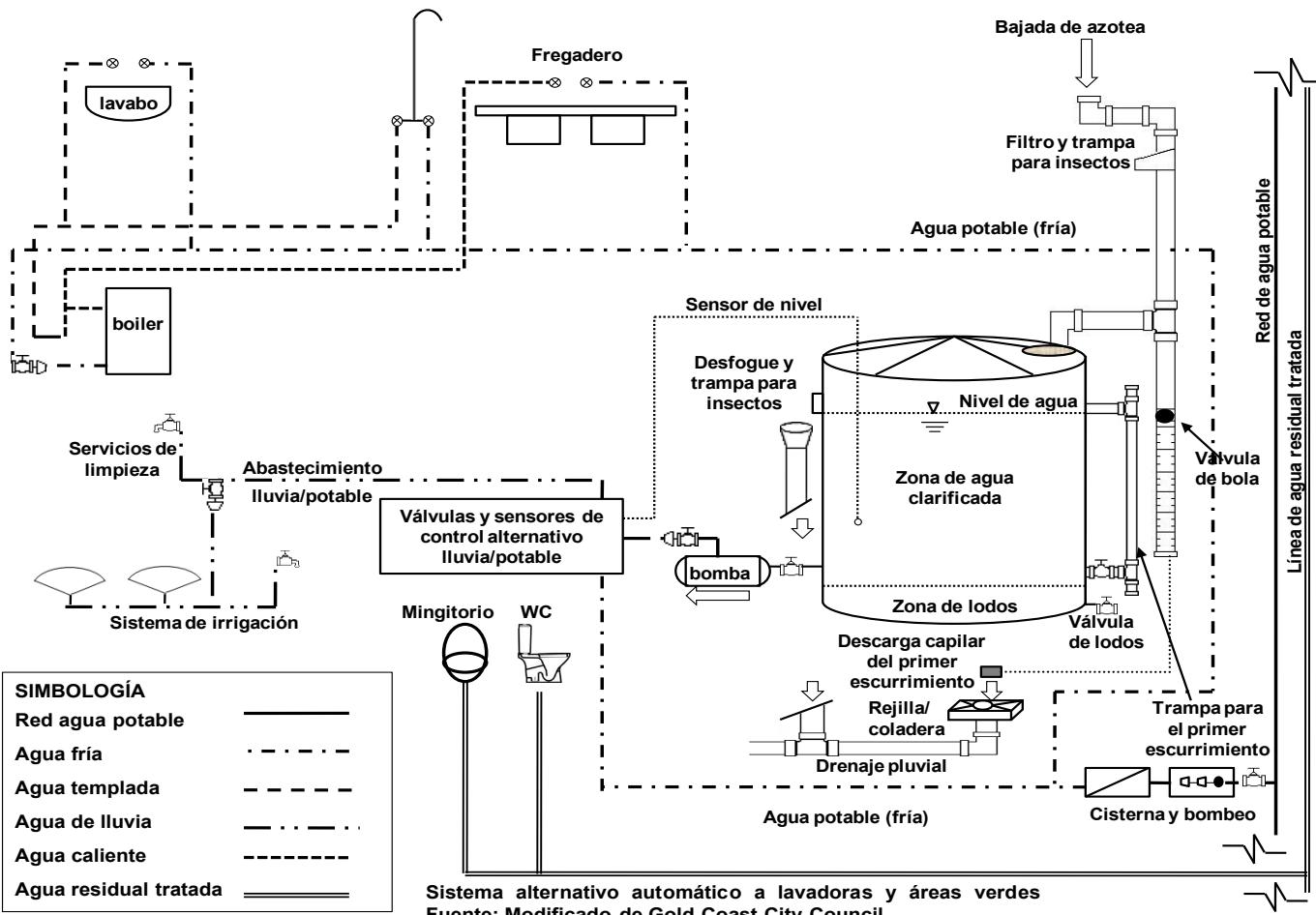


Figura 4.32 Esquema general para un sistema en que se alterna el uso de agua de lluvia con agua potable mediante control automático; se utiliza agua residual tratada para WC y mingitorios. *Fuente: Modificado de: Gold Coast City C, 2005*

El esquema general para la implementación de sistemas de uso alternativo de agua de lluvia al agua potable para WC en edificios, de viviendas u otros usos, se modifica en tecnificación respecto a viviendas unifamiliares, pero se mantiene el principio de operación (ver Figura 4.33).

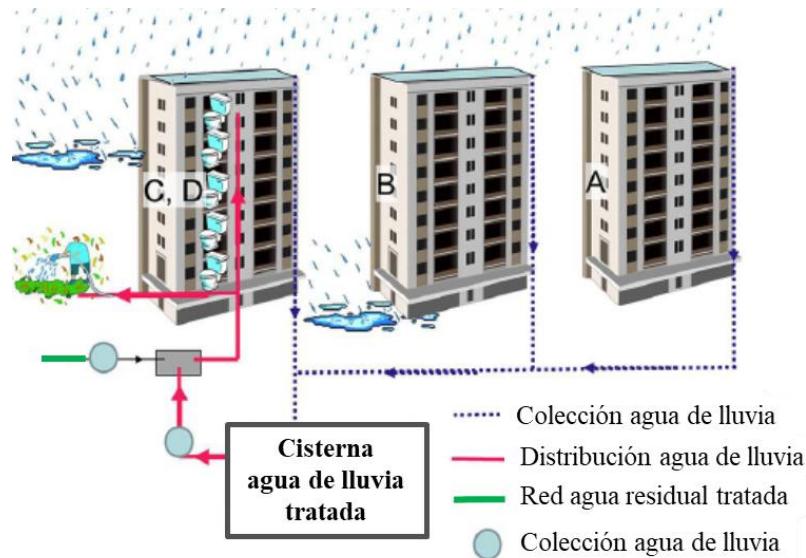


Figura 4.33 Diagrama del sistema alternativo entre agua de lluvia y agua potable para viviendas múltiples en edificios. Fuente: adaptado de Mun y Han (2012).

4.3.5. Filtración para pulimento

Los dispositivos de pretratamiento deben ser incluidos como parte de todos los sistemas de captación de agua de lluvia (Rain Harvesting, 2009), se mejora la calidad de agua, se protegen las bombas, se reduce el mantenimiento del tanque y se aumenta la vida útil del sistema final de filtración (cartuchos para filtración de agua de lluvia).

El sistema de filtración de triple acción (Figura 4.34) proporciona siete veces más superficie que los filtros tradicionales de carbón. Los sistemas son fáciles de instalar y ofrecen alto rendimiento con componentes resistentes a rayos ultravioleta y accesorios resistentes a la corrosión. El sistema único de contenedor de tres piezas asegura larga vida; las partes móviles del latón y las conexiones para la instalación de entrada/salida proporcionan conexiones fuertes y herméticas.

En la Tabla 4.15 se muestran los usos del agua en función del tamaño de filtración, se dan especificaciones de modelo, caudal, conveniencia, dimensiones y tamaños.

El sistema de filtración de sedimentos utiliza un filtro de cartucho de poliéster que es reutilizable y lavable para ampliar vida de servicio. El diseño permite una carga más alta de suciedad y optimiza la eficacia de la filtración. Esto permite flujos completos y volúmenes mayores a través del filtro, así las bombas pueden funcionar a presión y sin restricción.

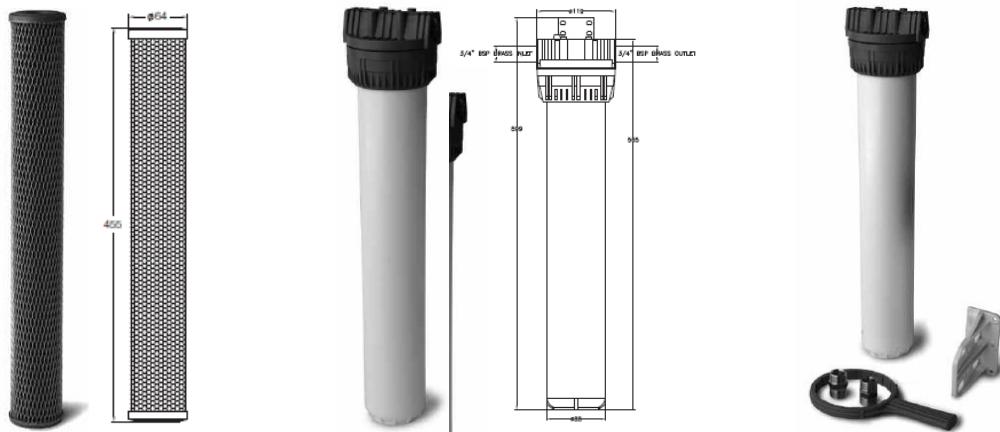


Figura 4.34 Sistema de filtración de triple acción. *Fuente: Rain Harvesting, 2009*

Tabla 4.15 Tamaño de filtración y el uso del agua filtrada.

Modelo	Filtro de lluvia triple acción 10'' (filtración de sedimentos menores a 15 micrones).	Filtro de lluvia triple acción 20'' (filtración de sedimentos menores a 15 micrones).	Filtro de lluvia filtración de sedimentos 5'' (filtración de sedimentos menores a 80 micrones).
Caudal	Conveniente para los caudales de hasta 25 litros por minuto.	Conveniente para los caudales de hasta 50 litros por minuto.	Conveniente para los caudales de hasta 30 litros por minuto.
Conveniencia	Ideal para suministro a WC y lavadoras.	Ideal para suministro a lavadoras, WC, sistemas de agua caliente y los sistemas de riego.	Ideal para suministro exterior como sistemas de riego, piscina, lavado de autos.
Dimensiones/ tamaño	64mm de diámetro x 248mm de altura.	64 mm de diámetro x 455 mm de altura.	64 mm de diámetro x 127 mm de altura.

Fuente: Rain Harvesting, 2009

-Sistema de Filtración de Triple Acción cartucho de 10" (Rain Harvesting, 2009). Para uso en la filtración de aguas pluviales cuando se conecta la cisterna de agua de lluvia para abastecimiento interno tanto en WC como en lavadoras, además, se busca remoción de color, olor y sedimentos. Los filtros de lluvia de triple acción, con cartuchos plisados de poliéster de 25 cm (Rain Harvesting, 2009) están diseñados para el tratamiento de sedimentos, color y olor en el agua de lluvia. Los cartuchos se construyen a partir de carbón de celulosa media. Los filtros de cartuchos de lluvia son resistentes al ataque de las bacterias que les permite ser utilizados con fines de aplicación de agua no clorada. La membrana con pliegues internos proporciona un área superficial adicional para mayor capacidad de carga, manteniendo al mismo tiempo mínima pérdida de carga. Esta combinación de un plegado de membrana de poliéster y de filtración de carbono produce un cartucho de filtro pendientes con la vida de servicio extendido.

El sistema de filtración de sedimentos, con cartucho de 12.5 cm (Rain Harvesting, 2009), es para uso cuando la cisterna de aguas pluviales abastece usos externos, como riego, lavado de autos y albercas. Se recomiendan los filtros de sedimento donde el suministro de agua de lluvia sea para aplicaciones exteriores y proporcione la filtración de sedimentos debajo de 80 micrones. El sistema protege las bombas y previene obstrucciones de los aspersores, permitiendo que los sistemas de riego del jardín funcionen libremente y el flujo sea continuo. Proporciona agua más limpia para los dispositivos de alta presión de limpieza, lavado de autos, la piscina u otras aplicaciones (Rain Harvesting, 2009).

Características del sistema de Filtración de Triple Acción:

1. Contiene una mezcla de carbón activado impregnado en la membrana para maximizar la eliminación y reducción de los colores y olores.
2. La mayor superficie proporciona mayor retención de sedimentos y mayor vida útil del filtro.
3. Rango de temperatura 4.4° C a 51.7° C.

También está disponible para vivienda con tamaño de 20 " más largo que el tradicional para filtración de agua de lluvia cuando se conecta a mayor gasto.

-Filtración gruesa. Sistema de filtración de sedimentos, cartucho de 5" (Rain Harvesting, 2009). Este cartucho es para uso en la filtración de aguas pluviales cuando la cisterna abastece agua de lluvia para usos externos, como riego, lavado de autos y albercas.

Se recomiendan los filtros de sedimento donde el suministro de agua de lluvia sea para aplicaciones exteriores y proporcione la filtración de sedimentos debajo de 80 micrones. El sistema protege las bombas y previene obstrucciones de los aspersores, permitiendo que los sistemas de riego del jardín funcionen libremente y el flujo sea continuo. Proporciona agua más limpia para los dispositivos de alta presión de limpieza, lavado de autos, la piscina u otras aplicaciones (Rain Harvesting, 2009).

Con alto rendimiento, los cartuchos son reutilizables y lavables, ampliando su vida útil. El diseño permite una capacidad de carga más alta de suciedad y optimiza eficacia de la filtración. Esto permite flujos continuos y que las bombas funcionen a alta presión sin restricción.

Los cartuchos tienen más de 4 m² de superficie, maximizando la capacidad de retención de la suciedad y extendiendo el tiempo entre los cambios de cartucho y la limpieza. Son resistentes tanto a bacterias como a ataque químico, por lo que son ideales para su uso con agua de lluvia (Rain Harvesting, 2009).

Características del sistema de filtración de sedimentos:

1. Poliéster resistente a químicos y bacterias.
2. Filtración de 80 micras.
3. Rango de temperatura 4.4 a 51.7 °C.

Los cartuchos son lavables y reusables, su limpieza puede extender la vida útil típica (6 a 12 meses), (Rain Harvesting, 2009).

4.4. Tecnologías para el aprovechamiento de las aguas residuales

Existe gran variedad de operaciones unitarias para el tratamiento del agua residual. Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales de tratamiento se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. Comúnmente, estas operaciones y procesos unitarios son combinados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Este apartado persigue explicar en términos generales las diversas opciones tecnológicas existentes para dar tratamiento a las aguas residuales en general y de cómo configurar trenes de tratamiento de aguas residuales para edificaciones en general dentro de las ciudades. Para ello, se explican los conceptos de lo general a lo particular. Se empieza explicando las características de las aguas residuales y las normas a cumplir para efectuar un reúso adecuado del agua residual. Se prosigue con el tratamiento de aguas residuales en sí; sus niveles de tratamiento, las tecnologías aerobias y anaerobias y otras de importancia para el tema. En un capítulo adicional, se presenta el concepto de tratamiento *in situ* y la recomendación de un tren de tratamiento para agua residual doméstica. Se concluye con recomendaciones para integrar trenes de tratamiento en función de la norma a aplicar y del tipo de edificación de que se trate; así mismo, se presenta un capítulo que versa sobre las preguntas más frecuentes relativas al tema.

4.4.1. Características del agua residual

El agua residual proviene principalmente de las zonas residenciales y conjuntos habitacionales en las cuales se hace uso de sanitarios, baños, cocinas, lavaderos y demás servicios. Aquí se pueden incluir hoteles, restaurantes, escuelas, etc. Este tipo de agua contiene principalmente materia orgánica biodegradable (proteínas, carbohidratos, grasas animales) así como microorganismos patógenos (como *Salmonella sp*; *Vibrio cholera*, *Staphilococcus aureus*, huevos de Helmintos) y sustancias inorgánicas como cloruros, amonio y nutrientes (Metcalf y Eddy, 2003). En la Tabla 4.16 se muestran las variaciones en la composición del agua residual doméstica y/o municipal típica. El agua, al ser utilizada incorpora diversas sustancias en forma suspendida, coloidal o disuelta que contaminan y degradan su calidad o pureza.

En la Tabla 4.17 se presentan los principales agentes contaminantes del agua, los parámetros utilizados para su medición, así como algunos impactos negativos que pueden causar.

Las aguas residuales que provienen de las edificaciones en las ciudades (escuelas, oficinas, centros comerciales, etc.), en lo particular de las casas habitación, poseen la característica de que varía el flujo influente a la planta y el tipo de contaminantes que descarga en función de la hora del día, del día de la semana y de las actividades propias de la familia: lo mismo sucede con la concentración de contaminantes.

Tabla 4.16 Concentraciones típicas de agua residual doméstica

Constituyente	Concentración Fuerte	Concentración mediana	Concentración débil
Demandra Química de Oxígeno DQO, mg/L	1000	500	250
Demandra Bioquímica de Oxígeno DBO ₅ , mg/L	400	220	110
Sólidos Suspendidos Totales SST, mg/L	350	220	100
Nitrógeno total Nt, mg/L	85	40	20
Nitrógeno Orgánico Norg, mg/L	35	15	8
Nitritos NO ₂ , mg/L	0	0	0
Nitratos NO ₃ , mg/L	0	0	0
Alcalinidad, como CaCO ₃ , mg/L	200	100	50
Grasas y Aceites, mg/L	150	100	20

Fuente: Metcalf y Eddy, 2003.

Tabla 4.17 Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos

Análisis principal	Contaminante considerado	Efecto
Demandra bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	Materia orgánica biodegradable.	Abatimiento del oxígeno disuelto en cuerpo receptor. Crecimiento incontrolable de microorganismos.
Demandra química de oxígeno (DQO). Carbón orgánico total (COT).	Materia orgánica en general	Mismos que DBO. Acumulación en cuerpo receptor. Riesgos de toxicidad.
Sólidos suspendidos totales (SST). Volátiles (SSV) y fijos (SSF).	Materia en suspensión sedimentable y no sedimentable.	Sedimentación y asolvamientos en cuerpos receptores. Digestión y liberación de materia orgánica e inorgánica.
Varios	Compuestos tóxicos (metales pesados).	Impacto a la salud humana, a la flora y fauna del cuerpo receptor (alta toxicidad, carcinogénicos o mutagénicos).
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK), nitratos y nitritos (NO ₃ , NO ₂), fósforo total (Pt), ortofosfatos (PO ₄ ³⁻).	Nitrógeno y fósforo.	Nutrientes que provocan eutrofificación en cuerpos de agua. Contaminación de acuíferos.
Grasas y aceites.	Grasas y aceites.	Acumulación en drenajes y cuerpos de agua. Reducen la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua. Contaminación visual.
Sólidos totales fijos (STF).	Sales inorgánicas.	Restringen el uso de agua tratada. Aumentan la conductividad en el agua.
Coliformes fecales y huevos de helmintos.	Patógenos	Transmisión de enfermedades gastrointestinales.

Fuente: Metcalf y Eddy, 2003.

La planta de tratamiento a especificar deberá tener en cuenta estas variaciones para que no sea afectada en su operación. Existen sistemas de tratamiento de aguas residuales eficientes, pero altamente dependientes de la estabilidad en los caudales, en la concentración y en el tipo de contaminantes.

Para el caso de edificaciones como unidades habitacionales e industria en general, pueden aplicar los comentarios anteriores; ello dependerá del tamaño de la unidad habitacional y del tipo de industria de que se trate.

4.4.2. Características del agua tratada y aplicaciones de reúso

Las plantas de tratamiento con fines de reúso en edificaciones deben cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1998), la cual, especifica dos niveles de tratamiento: contactos indirecto u ocasional y contacto directo. En la Tabla 4.18 se presentan los valores límite que deben cumplirse para cada caso.

Tabla 4.18 Límites máximos permisibles de contaminantes en la NOM-003-SEMARNAT-1997

Tipo de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales NMP/100 mL	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/L	DBO ₅ mg/L	SST mg/L
Servicios al público con contacto directo.	240	≤ 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional.	1,000	≤ 5	15	30	30

Fuente: SEMARNAT, (1998)

Como elemento adicional para asegurar un reúso amplio y sin problemas de aceptación por parte del usuario, se recomienda cumplir con lo siguiente:

- Concentración de materia orgánica medida como DQO total menor a 60 mgO₂/L.
- Concentración de sólidos suspendidos totales menor a 20 mg/L.
- Concentración de O₂ disuelto mayor a 2 mg/L en el agua tratada.
- Inodora y prácticamente incolora.
- No generación de olores ni ruido.

Para concentraciones de nitrógeno total del orden de 50 mg/L en la entrada (lo más común en aguas residuales domésticas):

- Concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) menor a 5 mg/L.
- Concentración de nitrógeno oxidado (N-NO₃⁻ + N-NO₂⁻) menor a 20 mg/L.

La alta calidad del agua tratada con eliminación de nitrógeno la hace apta para diversos reúsos. Con desinfección con cloro o luz ultravioleta, el agua puede emplearse en riego de áreas verdes y jardines, lavado de pisos y automóviles, así como en fuentes de ornato (según está especificado en la NOM-003 mencionada). Adicionalmente, la descarga de sanitarios puede incluirse en los posibles puntos de reúso, lo que impactaría fuertemente en el consumo de agua domiciliaria, abatiéndolo del orden de 30 a 40 %.

Además de la planta de tratamiento, el reúso de agua tratada requiere de una red de distribución independiente, que puede llegar hasta nivel intradomiciliario, como sería el caso cuando se tenga reúso en riego de jardines y en descarga de sanitarios. Es indispensable contar con un sistema de supervisión y control de la calidad del agua tratada, para asegurar el cumplimiento con las especificaciones y reducir al mínimo los riesgos a la salud.

Una acción ambiciosa de reutilización de agua residual tratada requiere de un sistema administrativo, técnico, sólido y sustentable. Para ello, es indispensable el convencimiento del usuario y un constante flujo de información hacia los involucrados donde se hagan evidentes los beneficios comunes obtenidos.

4.4.3. Definición de los niveles de tratamiento dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales

El nivel de tratamiento para un agua residual depende del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada. A continuación, se describen someramente los distintos niveles de tratamiento.

4.4.3.1. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar de un agua residual se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares. Ejemplo de ello, es la eliminación de componentes de gran volumen como troncos, piedras, animales muertos, plásticos o problemáticos como arenas, grasas y aceites. El tratamiento se efectúa por medio de cribas, desarenadores, flotadores o desgrasadores (trampas de grasa). En ciertas ocasiones se emplean trituradores para el control de desechos de gran tamaño. Para el caso del tratamiento de aguas residuales en pequeñas unidades, como casas habitación o edificios, no necesariamente se utilizan todas estas operaciones unitarias, pero sí, al menos, la unidad de rejillas.

4.4.3.2. Tratamiento primario

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida pesada o que flota es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio, en el primer caso. Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario.

4.4.3.3. Tratamiento secundario

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción.

Básicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, en energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. En el caso del agua residual doméstica, el objetivo principal es reducir el contenido orgánico y en ciertos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo.

Los procesos biológicos se dividen en dos grupos; los anaerobios y los aerobios. El proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja tasa de síntesis bacteriana, es decir, baja producción de lodos de desecho, ya que 90 % de la energía se encuentra en el metano producido, mientras que el 10 % restante se emplea para la síntesis celular. Por lo contrario, en el tratamiento aerobio, 65 % de la energía es utilizada para la síntesis celular, por lo que hay mayor generación de biomasa como lodo no estabilizado, cuyo tratamiento y disposición incrementa la dificultad técnica, así como el costo del tratamiento.

4.4.3.4. Tratamiento terciario o avanzado

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario, con el fin de eliminar compuestos tales como los nutrientes y la materia orgánica no biodegradable, persistente y suspendida remanente. Ejemplos de los procesos empleados en un tratamiento avanzado son la precipitación química y sedimentación, antesala de la filtración y de la adsorción mediante carbón activado, además de los procesos para la remoción de nutrientes (N y P) y procesos con membranas.

4.4.3.5. Tratamiento y disposición del lodo

La generación de lodo en todo tipo de tratamiento es inevitable y es un factor muy importante que debe ser considerado para una buena elección del proceso de tratamiento. Este hecho, como todos los otros en los procesos de la naturaleza, debe seguir la ley de la conservación de la materia y la energía; es decir, la materia no se crea ni se destruye, solamente se transforma, en el caso de las plantas de tratamiento, los contaminantes y la materia orgánica se transforman, en parte, en lodo.

El hecho de que se afirme (afirmación de tipo comercial muy recurrida) que un proceso de tratamiento de aguas residuales no produzca lodo, debe ser visto como un reflejo de ignorancia o un intento de timo.

En algunos casos, el tratamiento y disposición del lodo generado por una planta de tratamiento llega a requerir un elevado porcentaje de los costos de inversión y operación de la planta. Existen

dos tipos de lodo biológico, uno generado por la digestión anaerobia y otro por la aerobia. Las diferencias esenciales entre el lodo anaerobio y el aerobio es que el primero se genera en volúmenes menores, ya se encuentra parcialmente estabilizado, puede ser utilizado como mejorador de suelos después de la deshidratación; inclusive, puede tener un valor comercial como inóculo para otras plantas de tratamiento.

Una planta de tratamiento puede generar otro tipo de residuo sólido como los lodos producidos por la coagulación-flocculación, arenas, sólidos voluminosos retenidos en el tratamiento preliminar, grasas y aceites.

Algunos procesos para el tratamiento del lodo aerobio son la digestión anaerobia o aerobia, el composteo mezclado con residuos celulósicos, el acondicionamiento químico, la incineración y la pasteurización. Como destino final, podrán ser desecharados en lugares especialmente acondicionados para ello o utilizados como mejoradores de suelos (Metcalf y Eddy Inc, 2003).

4.4.3.6. Sistema de control de olores

El impacto de los malos olores provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se ha conocido desde hace tiempo. En este sentido, es conocido que los malos olores son la principal preocupación de la población cuando se habla del tratamiento de aguas residuales.

En los últimos años, la preocupación por los derechos de la población a un ambiente saludable, asociada a la implementación de mejoras en la legislación ambiental, ha conducido hacia la minimización de las emisiones de olores en el tratamiento de aguas residuales, especialmente las domésticas, lo cual, se ha convertido en uno de los retos más significativos en el ámbito del manejo de los recursos hídricos.

Ranade y Bhandari, (2014) mencionan que, en un tren de tratamiento completo, las unidades que mayormente se identifican como fuentes potenciales de malos olores son el desarenador y el digestor anaerobio. Es así que el 17 % de las plantas de tratamiento reportan al desarenador como una fuente potencial en la generación de malos olores seguida del digestor anaerobio en 26 % de los casos (Figura 4.35). Las fosas sépticas han sido identificadas como fuentes de malos olores en algunos trabajos (Kularatne *et al.*, 2003).

La generación de sulfuros es uno de los principales problemas presentes durante la transportación y colección de las aguas residuales debido a su olor desagradable y características de corrosión. Algunos autores han enfocado sus esfuerzos en predecir la formación de H₂S en las líneas de colección y transporte del agua. El problema se agudiza en zonas con climas relativamente calurosos.

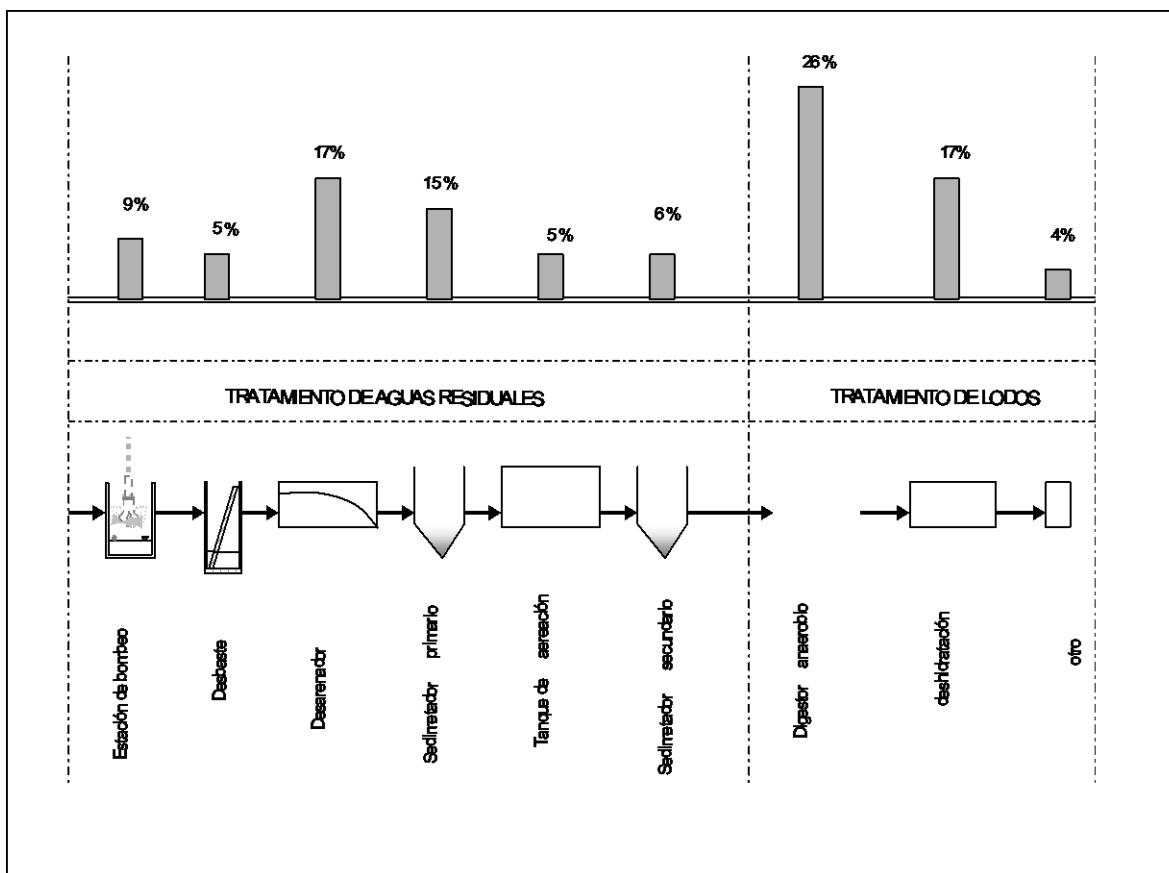


Figura 4.35 Principales fuentes de olores en una planta de tratamiento. Fuente: Ranade y Bhandari, 2014

4.5. Procesos más frecuentemente utilizados en los diversos niveles de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales en edificaciones

4.5.1. Remoción de sólidos suspendidos y sedimentables

En la remoción de sólidos suspendidos y sedimentables, utilizada en una fase inicial del tratamiento, se debe aplicar el cribado para la remoción de sólidos gruesos y la sedimentación (Metcalf y Eddy, Inc., 2003). La filtración se debe utilizar, en el caso de que se requiera, después del tratamiento secundario o terciario, no antes. Esto debido a que en el medio filtrante se retendrían todos los sólidos suspendidos (que en parte pueden ser removidos por otras operaciones más económicas) provocando taponamientos muy frecuentes en el filtro.

La filtración es eficiente para la remoción de sólidos suspendidos, sin embargo, requiere mayor esfuerzo operacional que un sedimentador.

La coagulación-floculación es utilizada para facilitar la remoción de sólidos en un sedimentador primario, así como para la remoción de fósforo después del tratamiento secundario. En el caso del agua residual doméstica no es justificable la utilización de un tratamiento químico (a menos de que existan restricciones de área), pues la remoción de sólidos, en el caso de requerirse, puede ser llevada a cabo a costos menores por medio de un tratamiento físico o biológico. Además, los lodos en un tratamiento químico son producidos en mayor cantidad y contienen sales no biodegradables, lo que ocasionaría inconvenientes para su disposición final.

La flotación es utilizada para la remoción de grasas y aceites o material flotante, contaminantes que en el primer caso difícilmente se presentan en grandes cantidades en las aguas residuales domésticas, en el segundo, se pueden aplicar sistemas menos complejos. Las trampas de grasas simples pueden limitar la entrada de grasas y aceites a la planta. Para el caso de restaurantes o en centros comerciales que alberguen cocinas o restaurantes, es indispensable la especificación de trampas de grasa en esos establecimientos. Las grasas y aceites desestabilizan la operación de las plantas de tratamiento, pues producen la flotación de lodo y aislan al microorganismo del agua.

Existen algunos productos químicos que disuelven las grasas y aceites en el agua residual, con ello, evidentemente, se evita el retiro físico de las grasas, sin embargo, éstas aparecen en las etapas de tratamiento subsecuentes provocando problemas de flotación de lodo, taponamientos y desestabilización de la planta de tratamiento. Se recomienda no usar este tipo de productos en las plantas de tratamiento, las trampas de grasas evitan que éstas entren al tren de tratamiento y lo desestabilicen. La remoción de estas debe efectuarse manualmente o por medios mecánicos.

Por otra parte, en el mercado, existen productos que dicen ser potenciadores biológicos, enzimas que aceleran los sistemas biológicos de tratamiento. Los sistemas de tratamiento biológicos no requieren de este tipo de productos, los microorganismos necesarios y suficientes para el adecuado funcionamiento de las plantas de tratamiento están presentes en el agua residual y son regulados por el ecosistema generado en la planta de tratamiento. Lo que hace una planta de tratamiento es crear condiciones para su desarrollo, concentración y manutención. El uso de estos productos enzimáticos, además de ser un riesgo al medio ambiente, son innecesarios y crean dependencia económica incrementando el costo de operación.

4.5.2. Remoción de materia orgánica biodegradable

Para la remoción de la materia orgánica biodegradable existen dos tipos de tratamiento, el anaerobio y el aerobio, que se detallan a continuación.

4.5.2.1. Sistemas aerobios

En los sistemas de tratamiento aerobios se identifican básicamente cinco procesos, es decir, el sistema de lodos activados, las lagunas de estabilización, el filtro percolador, el filtro sumergido y el disco biológico rotatorio. Los demás sistemas aerobios existentes son variantes, combinaciones o mejoras secundarias de estos procesos básicos identificados por una verdadera constelación de marcas y productos comerciales.

La disponibilidad de área es el criterio que limita el empleo de lagunas de estabilización ya que requieren, en comparación con sistemas convencionales, un área setenta veces mayor. En centros urbanos, los altos costos del terreno son el factor restrictivo en la selección de este sistema. Sin embargo, es un sistema que prácticamente no requiere equipo electromecánico, tiene los requerimientos más bajos de personal, es capaz de producir agua apta para riego y elimina coliformes. Sin embargo, hay que considerar los altos costos demandados cuando el sistema requiere desazolvarse. Si hay condiciones de proyecto, pudiera considerarse esta opción.

Todos los demás sistemas biológicos aerobios como son los lodos activados, filtro sumergido, filtro percolador y discos biológicos rotatorios pueden ser aplicados en el tratamiento del agua residual doméstica. En este caso, la elección de un sistema de tratamiento estará supeditada básicamente al costo de operación y mantenimiento. En un agua residual con alta concentración de materia orgánica, en la cual se requiera aplicar un tratamiento que produzca un agua residual para reúso, es conveniente desde el punto de vista económico, la combinación de procesos anaerobios con alguno de los procesos aerobios ya señalados.

4.5.2.2. Sistemas anaerobios

Los sistemas anaerobios pueden ser clasificados en tres tipos o generaciones en función del grado de contacto entre el microorganismo y el sustrato; así como en función de la diferencia entre el tiempo de retención celular y el tiempo de retención hidráulica. El primer tipo de procesos anaerobios engloba aquéllos caracterizados por tener altos períodos de retención hidráulica con sistemas de distribución de agua residual no adaptados para lograr homogeneidad en su distribución. En los del segundo tipo o generación, los microorganismos son retenidos en el reactor por medio de un soporte (empaque) para que se adhieran en forma de biopelícula; o bien, por medio de su capacidad de sedimentación. En estos sistemas se ha separado el tiempo de retención hidráulica del celular y se ha mejorado considerablemente el sistema de distribución de agua, logrando con ello, una mejor interacción entre el sustrato y el microorganismo. Además, el diseño de las instalaciones ha permitido su modulación y compactación. Por último, los reactores de tercera generación también poseen los microorganismos en biopelícula, pero el soporte se expande o fluidifica con altas velocidades de flujo.

Los resultados más importantes obtenidos durante el desarrollo tecnológico a través de las generaciones de reactores son la disminución del tiempo de retención hidráulica de días a horas, la creación de instalaciones compactas, así como el incremento de las eficacias y eficiencias del tratamiento del agua residual.

Dentro de los procesos de primer tipo, las fosas sépticas y los tanques Imhoff han sido utilizados ampliamente debido a su bajo costo de inversión, así como a su operación y mantenimiento. Sin embargo, este tipo de sistemas poseen bajas eficiencias de remoción de contaminantes debido a que únicamente se limitan a la remoción de sólidos suspendidos en 50 %, prácticamente no remueven materia orgánica soluble (30 % DBO₅) (Metcalf y Eddy, Inc., 2003). La utilización de fosas sépticas es esencial en la configuración de un tren de tratamiento para casas habitación, por su importancia, se describirá con mayor detalle más adelante.

Las lagunas anaerobias presentan el mismo inconveniente de las aerobias, necesitan ocupar una superficie extensa de terreno, en este caso, son fuentes seguras de malos olores y de atracción de vectores, es por ello que no se recomienda su uso.

Una tecnología que sustituye y supera ampliamente al tanque Imhoff, considerando prácticamente el mismo costo de inversión y operación, es el reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Este reactor remueve de 70 a 80 % de la materia orgánica en suspensión y soluble. Al tomar en consideración el desarrollo de esta nueva tecnología, no se deben utilizar más los tanques Imhoff.

El filtro anaerobio es un reactor que retiene la biomasa anaerobia en un empaque, lo que le confiere mayor versatilidad en su operación, pues puede resistir variaciones altas de caudal sin que la biomasa se lave o salga del reactor, sin embargo, el empaque provoca un costo adicional.

El proceso de contacto anaerobio comprende un digestor completamente mezclado y requiere un agitador y un sedimentador, así como un equipo de bombeo de lodo, aspectos que impactan directamente el costo de inversión y operación, además de depender fuertemente de las características de sedimentación del lodo formado en el tanque de contacto. Este sistema es aplicado para tratar aguas residuales industriales, sin ninguna posibilidad de usarlo para las domésticas por lo que se descarta su uso en este caso.

Por otro lado, existe el reactor anaerobio de lecho fluidificado, aunque posee una capacidad de remoción del orden de 4 a 5 veces mayor que los otros reactores anaerobios, no ha sido aplicado con amplitud debido a su compleja operación para aguas residuales industriales. Su aplicación en aguas residuales domésticas se descarta al ser una tecnología altamente dependiente de la granulación, cosa que no se logra o es difícil ello con las aguas residuales domésticas.

4.5.3. Procesos acoplados (Anaerobio-aerobio)

Los procesos acoplados o combinados anaerobio-aerobio aumentan la eficiencia energética en el tratamiento de las aguas residuales comparado con una planta solamente aerobia. En la etapa anaerobia se elimina la mayor cantidad de materia orgánica en el agua residual; en la aerobia, se pule el efluente anaerobio. La calidad del agua es recomendada para su reúso en riego, lavado de automóviles y calles, inclusive, en la descarga de sanitarios, con una adecuada desinfección en todos los casos, es decir, es equiparable a la calidad de agua generada por una planta de tratamiento completamente aerobia.

Una de las ventajas más importantes que ofrece este tipo de acoplamiento, además del decremento del costo de inversión y operación, es la disminución en más de cinco veces la producción de lodo, al ser comparada ésta con la de un sistema aerobio solo. Además, el lodo producido se encuentra estabilizado.

4.5.4. Remoción de nutrientes

El contenido de nutrientes en el agua provoca problemas como la eutrofización acelerada en lagos, favorece el crecimiento de algas (por ejemplo, en los tanques de descarga de sanitarios, si es que el agua se reúsa en esta actividad), provoca un consumo de oxígeno adicional en los cuerpos hídricos, son tóxicos para los

organismos acuáticos superiores, reduce la eficiencia de cloración del agua, algunos compuestos nitrogenados son carcinógenos y otros provocan metahemoglobinemia en lactantes. Por las razones anteriores, para lograr una calidad de agua tratada que pueda ser dispuesta en acuíferos, es necesario eliminar los nutrientes del agua residual.

En el caso del reúso del agua en actividades no restringidas, este aspecto no es estrictamente necesario, aunque deseable.

Para la remoción de nutrientes es posible aplicar procesos fisicoquímicos, pero sus elevados costos y generación de lodo no fácilmente tratable, los hacen en muchos casos no recomendables.

La utilización de sistemas biológicos para este objeto es lo más adecuado. Existen sistemas de tratamiento con biomasa suspendida que están capacitados para la remoción simultánea de nitrógeno y fósforo. Los sistemas con biomasa fija únicamente remueven nitrógeno. En este último caso, si se requiere la eliminación de fósforo, será necesario acoplar el proceso con un proceso químico.

Por otra parte, existe gran variedad de sistemas de tratamiento de aguas que hacen uso de plantas vegetales, llamados éstos "sistemas naturales construidos". Ejemplos de ellos son el filtro lecho de raíces (wetland) con flujo subsuperficial o superficial, el tratamiento con base en lemaña, lirio acuático, etc. Estos sistemas poseen la capacidad de eliminar en forma eficaz y simultánea la materia orgánica, los nutrientes y algunos metales.

4.5.5. Remoción de patógenos

La remoción de patógenos es sinónimo de desinfección. Ésta es recomendable en todo efluente de una planta de tratamiento (excepto cuando la descarga es a drenaje) y debe ser realizada cuando el agua tratada sea destinada a reúso.

El cloro (hipoclorito de sodio de preferencia), debido a la alta disponibilidad en el mercado y a la experiencia acumulada, es el desinfectante más utilizado. Sin embargo, la desinfección con luz ultravioleta ha sido aplicada con éxito en varias partes del mundo a pesar de que no tiene un efecto residual como el cloro, por lo que se recomienda que el agua tratada se reúse o disponga inmediatamente. En una dosis adecuada, el cloro posee un efecto residual por lo que su uso es recomendable cuando haya que almacenar el agua para su posterior disposición o reúso.

Otro tratamiento para considerar es la desinfección con ozono, aunque el costo de inversión es elevado al compararlo con los dos tratamientos anteriores.

4.5.6. Tratamiento del lodo aerobio

El tratamiento del lodo inicia con su espesado, con el objeto de manejar menos agua durante la estabilización de éste. La disminución del contenido de agua puede llevarse a cabo en sedimentadores llamados espesadores, donde se concentra el lodo, en sistemas de flotación, etc. Una vez concentrado el lodo, éste se somete a cualquiera de los siguientes procesos de estabilización: por digestión anaerobia, oxidación aerobia, composteo, tratamiento con cal o tratamiento con calor (Metcalf y Eddy,

Inc., 2003). Durante el proceso de estabilización, la fracción de sólidos suspendidos volátiles es muy baja, es decir, el lodo se mineraliza. Al finalizar la etapa de estabilización, el lodo se somete a un proceso de deshidratación donde frecuentemente es usado el acondicionamiento químico conjuntamente con filtros prensa o banda.

El tratamiento de lodo aerobio puede ser realizado por medio de una digestión anaerobia. La digestión aerobia y la incineración tienen en común el alto costo de inversión y operación. En el segundo caso se debe instalar equipo de control para evitar la contaminación del aire.

El sistema de composteo requiere mano de obra para el mezclado de las pilas, además de demandar mayor área para su localización. La utilización de lechos de secado tiene el inconveniente de producir malos olores y de requerir un área extensa para su localización, sin embargo, debido a la sencillez de su operación se utiliza con frecuencia. Se aclara que los lechos de secado no estabilizan el lodo, solamente lo deshidratan, por lo que es necesario un tratamiento que puede ser la estabilización con cal en base seca.

4.5.7. Procesos aerobios

En la Figura 4.36 se muestran esquemas de los procesos aerobios básicos para el tratamiento de aguas residuales.

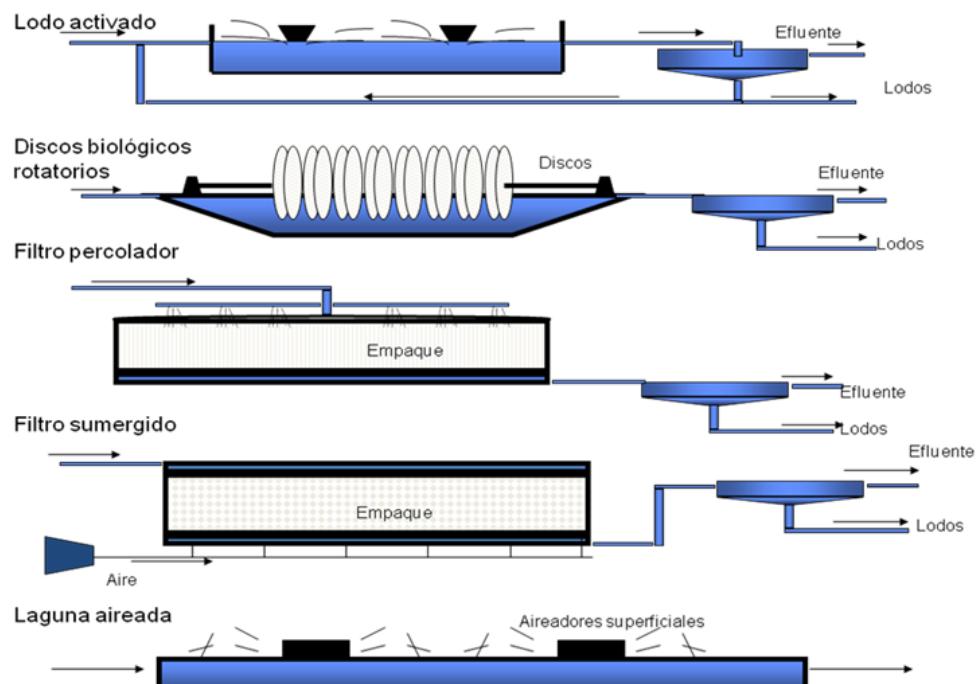


Figura 4.36 Procesos aerobios para el tratamiento de aguas residuales generaciones *Fuente: Adaptado de Sideshare.net, 2024*

4.5.7.1. Lagunas de estabilización aireada

En estos sistemas, la simbiosis entre bacterias y algas se aprovecha para degradar la materia orgánica; las primeras consumen materia orgánica y oxígeno, además, producen CO₂; mientras que las segundas consumen CO₂ y producen oxígeno por medio de la fotosíntesis, lo que mantiene concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas en la zona superior de la laguna. Un sistema de tratamiento basado en lagunas generalmente se compone de dos o tres estanques conectados en serie. La primera es del tipo facultativa (zona aerobia en la parte superior y zona anaerobia en la parte inferior) con una profundidad entre 1 y 1.5 m; la segunda es de tipo de oxidación (no hay zonas anaerobias) con profundidad de 1 m. Si se instala una tercera laguna será con objeto de dar un pulimento al agua tratada y abatir la concentración de microorganismos patógenos.

Como criterios generales de diseño pueden considerarse de 6 a 8m² de terreno por habitante, con tiempos de retención hidráulica entre 40 y 60 días (Metcalf y Eddy, Inc., 2003). Con esto se logra una eficiencia en la remoción de DBO₅ soluble del orden de 95 % y en coliformes de 99 %. Las lagunas aireadas se distinguen de las facultativas principalmente porque se les suministra oxígeno mediante mecanismos de aireación artificial, generalmente lograda con aireadores flotantes. En esta modalidad del proceso, dependiendo de la profundidad y de la potencia de agitación instalada, se tendrán zonas aerobias y anaerobias. Su profundidad varía entre 2 y 5 metros, los requerimientos mínimos para lograr una agitación aceptable son de 0.008 HP/m³ de reactor. Para este tipo de lagunas se puede considerar un requerimiento de 2 a 3 m² de laguna por habitante con tiempos de retención de 20 días. Los lodos que se generan en lagunas deben ser evacuados en periodos de 1 a 3 años; su grado de estabilización permite la disposición en campo o en relleno sanitario.

4.5.7.2. Proceso de lodos activados

Este proceso es uno de los más utilizados para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico y/o municipal en el mundo. Existen alrededor de diez sistemas variantes de lodos activados; los sistemas de flujo pistón, totalmente mezclado y el de aireación extendida son los más comunes.

En los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digerirán para crecer y sobrevivir. Cuando los microorganismos crecen y son mezclados con la agitación del aire, éstos tienden a agruparse (floculación) para formar una masa activa de microorganismos denominada lodo activado; a la mezcla de este lodo, con el agua residual se llama licor mezclado. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta (Figura 4.36). Una porción del lodo sedimentado debe ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismo, esto permite una adecuada degradación de la materia orgánica.

Debido a que en el tanque de aireación se genera lodo activado por la reproducción de los microorganismos, cierta cantidad debe ser apartada del sistema con la meta de conservar constante su concentración en el tanque de aireación; como lodo de purga, un requerimiento básico del sistema de lodos activados es su adecuada aireación, que puede ser ejecutada mediante difusores o aireadores mecánicos.

Debido a que en el tanque de aireación se genera lodo activado por la reproducción de los microorganismos, cierta cantidad debe ser apartada del sistema con la meta de conservar constante su concentración en el tanque de aireación; como lodo de purga, un requerimiento básico del sistema de lodos activados es su adecuada aireación, que puede ser ejecutada mediante difusores o aireadores mecánicos.

En el reactor mezclado, las partículas que entran al tanque de aireación son distribuidas en todo el volumen del reactor logrando una uniformidad completa en el mismo. El aumento de contaminantes en el reactor es la misma en todo el volumen del reactor. Este tipo de reactor se puede pensar como una sucesión infinita de tanques totalmente mezclados con volumen diferencial que le confieren mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

El reactor con aireación abierta se parece a uno bien mezclado, excepto en el tiempo de retención hidráulica y celular, que es mayor, para permitir una digestión del lodo por medio de la respiración endógena.

4.5.7.3. Filtros percoladores

En este sistema no se efectúa ninguna acción cribadora o filtrante, por lo que la palabra filtro no está correctamente empleada; sin embargo, el tiempo y el uso han generalizado el término. En realidad, este es un dispositivo que permite poner en contacto a las aguas residuales con cultivos biológicos adheridos a un empaque, suficientemente espaciado para que circule el aire. Un nombre más apropiado para este sistema podría ser el de lecho no sumergido de oxidación biológica o reactor biológico empacado no sumergido.

El material de empaque debe contar con una alta relación área/volumen, ser inerte, resistente, durable y de bajo costo. Los filtros percoladores se clasifican en función de la carga orgánica volumétrica alimentada en alta, media y baja tasa. Con los sistemas de baja tasa se obtienen las mejores eficiencias en la remoción de DBO_5 (90 a 95 %) y un efluente nitrificado. Los filtros de media y alta tasa tienen eficiencias de 85 a 90 %; su efluente está sólo parcialmente nitrificado; además, en estos sistemas se requiere la recirculación del efluente, lo que significa un gasto energético adicional.

Como aproximación, se puede fijar un volumen de reactor de 0.2 m^3 por habitante en los filtros de baja tasa y de 0.08 a 0.1 m^3 por habitante para los de media y alta tasa (Metcalf y Eddy, Inc., 2003).

4.5.7.4. Sistema de discos biológicos rotatorios

Este sistema consiste en un empaque circular giratorio en el cual se encuentra la biomasa adherida. El disco rota sobre su eje lentamente (2 a 5 rpm) con 40 % de su superficie sumergida en el agua residual, mientras que el resto entra en contacto con el aire, es decir, la biopelícula interacciona con el aire y el agua en forma sucesiva. Las unidades comúnmente tienen 3 a 6 m de diámetro por 8 m de longitud y una superficie de contacto mayor a 9,000 m² (Metcalf y Eddy, Inc., 2003). El agua tratada pasa a un sedimentador secundario, donde se desvía la bio-película desprendida que forma los lodos de purga del sistema y que hay que tratar antes de su disposición final. El método no requiere recirculación y sus costos de operación son reducidos.

Se realizan arreglos de varios tanques, por lo menos dos o tres tanques de discos biológicos en serie, lo que puede llevar a altos valores de remoción de materia orgánica y de nitrificación. En el tratamiento del agua residual doméstica se alcanzan eficacias de 90 a 95 % en la remoción de la DBO₅. Esta técnica puede ser utilizada en climas fríos con mayor versatilidad que otros, debido a que opera protegida por una cubierta.

4.5.7.5. Filtro sumergido aerobio (FSA)

Este sistema consiste en un tanque empacado con elementos plásticos o piedras. El empaque, el cual provee área para la adherencia de los microorganismos, se encuentra sumergido en el agua residual. El oxígeno debe ser incorporado al agua mediante difusores de aire puestos en el fondo del reactor acoplados a un sistema de compresión por medio de tubos Venturi o jets.

El empaque puede estar constituido por materiales como piedras, plástico, materiales cerámicos, inclusive, materiales de origen vegetal.

Un filtro sumergido no contiene partes móviles, además, combina un tratamiento con base en biopelícula y biomasa en suspensión, características que le confieren una concentración alta de microorganismos en su seno, proporcionándole capacidad para el tratamiento de altas cargas de materia orgánica y estabilidad en su operación.

4.5.8. Procesos anaerobios

En la Figura 4.37 se presentan los esquemas de los procesos anaerobios según su generación. Aunque los procesos anaerobios pueden ser clasificados por generaciones, donde se resaltan sus aspectos operativos tanto en el tiempo de retención hidráulica (TRH) como en el contacto entre el microorganismo y el sustrato, pueden ser clasificados según el tiempo en el que se encuentra la biomasa. Al analizar la Figura 4.37 es posible ubicar procesos con biomasa suspendida, sedimentada, fija y expandida.

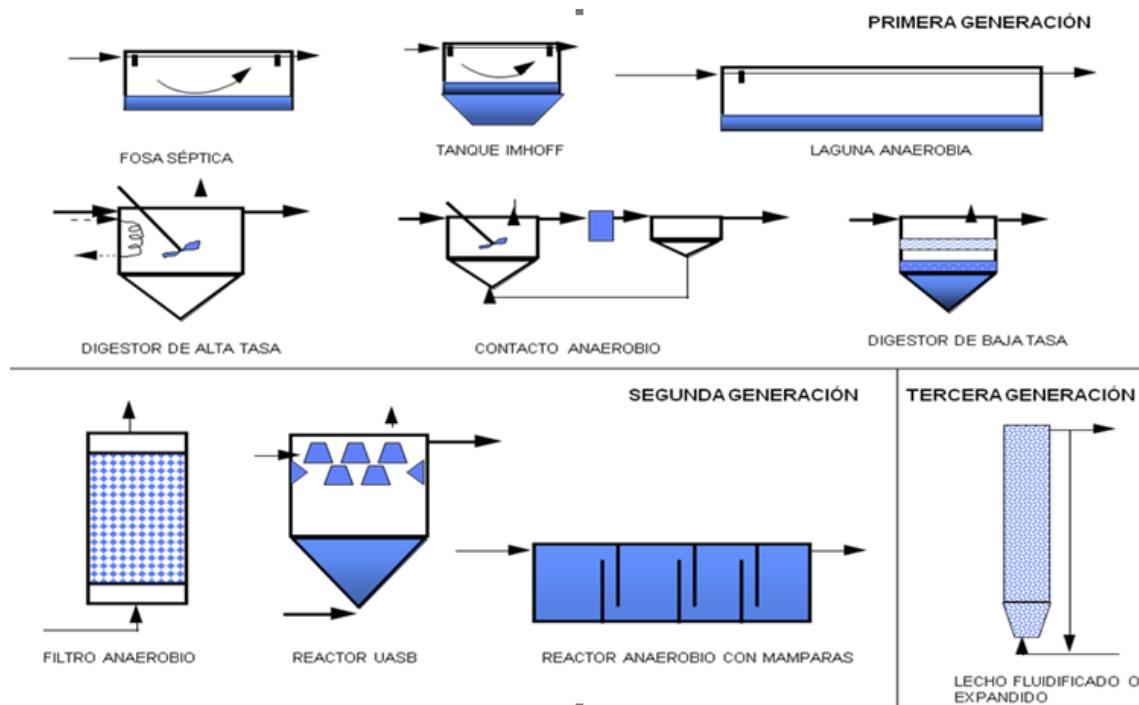


Figura 4.37 Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales según sus generaciones *Fuente: Adaptado de slideshare.net, 2024.*

4.5.8.1. Fosa séptica

La fosa séptica es un digestor convencional a escala pequeña. Se aplica a las aguas de desecho de casas habitación, escuelas y en áreas rurales donde no existe el servicio de drenaje.

Las fosas sépticas son tanques prefabricados que permiten la sedimentación y la eliminación de partículas flotantes, actuando como digestores anaerobios. Mourais (1860) dio a conocer las fosas sépticas. Su aplicación está muy extendida por todo el mundo; actualmente, se fabrica con resinas de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El tanque séptico es pieza fundamental del sistema de fosa séptica porque en ese punto se separa la parte sólida de las aguas residuales por un proceso de sedimentación simple; además, se lleva a cabo en su interior la transformación de la materia orgánica por acción de las bacterias anaerobias, convirtiéndola, entonces, en lodo estabilizado.

Es necesario conocer el número de personas que van a usar el sistema; para calcular la capacidad de la fosa séptica, se considera un gasto de aguas residuales en términos de volumen por persona y por día, sugiriendo como una medida un gasto de 150-250 litros/persona/día y un periodo de recepción de 24 horas.

Los sistemas de fosas sépticas tienen capacidad para hacer un tratamiento parcial de las aguas residuales; el efluente no posee características físico-químicas, para ser vertido directamente a un cuerpo receptor como un río con caudal permanente, por eso, es importante efectuar el postratamiento del efluente de la fosa séptica.

Desde que se coloca una fosa séptica se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La fosa séptica no se debe poner en terrenos pantanosos, ni en rellenos mezclados, ni en lugares donde haya inundaciones o con niveles freáticos altos.
- Es importante seleccionar un suelo o piso firme y plano para la ubicación del tanque.
- Se recomienda excavar hasta el nivel del fondo de tal manera que, la tubería de entrada coincida con la prevista del tanque.
- Verifique el sentido de flujo para instalar adecuadamente la tubería de entrada y salida. Si el tanque se coloca en una zona con tránsito vehicular, se tiene que colocar por lo menos una loza de concreto armado de 10 cm de espesor.

Para el buen funcionamiento de la fosa séptica se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Verter todos los accesorios sanitarios en la fosa séptica.
- Se recomienda descargar el agua de lluvia en el alcantarillado pluvial o drenaje.
- No se recomienda que se conecte a la fosa séptica.
- No meter limpiadores, solventes, pinturas, pesticidas, tintas, medicamentos o cualquier otro químico a las tuberías porque pueden matar las bacterias que tratan los desechos en la fosa séptica.
- No es recomendable poner los residuos de comida, ni las grasas o aceites de cocina en el lavavajillas.
- Es importante hacer una inspección visual por lo menos cada medio año.
- Se debe efectuar una purga periódicamente de la fosa para mantenerla operativa.

4.5.8.2. Tanque Imhoff

El alemán Imhoff (1876-1965) fue de los primeros especialistas en aguas, concibió el tipo de tanque de doble objeto que lleva por nombre su apellido.

Existen tanques Imhoff en una variedad de formas rectangulares y circulares, lo que los distingue es que siempre presentan una cámara o cámaras superiores por las cuales pasan las aguas negras en su período de sedimentación; además de otra cámara más abajo donde la materia recibida por gravedad permanece en condiciones tranquilas para su digestión anaeróbica. De la forma del tanque se obtienen diversidad de ventajas: 1) los sólidos sedimentables alcanzan la cámara inferior en menor tiempo; 2) la forma de la ranura y de las paredes inclinadas que tiene la cámara acanalada de sedimentación, empuja a los gases de la digestión a tomar un camino hacia arriba que no causa problemas a la acción sedimentadora.

Para un tratamiento primario, el tanque Imhoff es parte de una planta para el tratamiento completo, en tal caso, su táctica de digestión debe tener una capacidad tanto para los lodos secundarios como para los que recibirá de la cámara de sedimentación sobrepuerta.

4.5.8.3. Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias es un proceso rústico utilizado en aguas de desecho industriales evacuadas a temperatura mayor a la del ambiente, con contenido de sólidos suspendidos sedimentables. En un tanque profundo (de aproximadamente 10 m) las condiciones anaerobias están siempre presentes con la singularidad de una pequeña zona en la superficie. Un punto particularmente incierto son los malos olores asociados con estos sistemas. Las retenciones hidráulicas reportadas en la literatura son muy variables, en general, mayores a siete días.

4.5.8.4. Digestor anaerobio convencional

El digestor anaerobio convencional se ha empleado en la estabilización de los lodos de desecho generado del proceso de lodos activados. Consiste en un tanque cerrado sin agitación y sin calentamiento, donde el desecho a tratar se estratifica en zonas definidas. La zona microbiana ocupa cerca de 30% del volumen total del tanque. Posee tiempos de retención hidráulica mayores a 30 días (Metcalf y Eddy, Inc., 2003).

4.5.8.5. Reactor de contacto anaerobio

El reactor de contacto anaerobio es, fundamentalmente, un reactor completamente mezclado conectado a un decantador que separa la biomasa para que sea recirculada al reactor. Es el equivalente anaerobio de los lodos activados.

Debido a las burbujas de biogás atrapadas en el interior del flóculo, los lodos anaerobios en el decantador, tienen tendencia a flotar. Esto se soluciona colocando un sistema de desgasificación entre el reactor y el decantador; cinco días se requiere de tiempo de retención hidráulico; el tiempo de residencia celular va de 15 y 30 días.

4.5.8.6. Filtro anaerobio

El filtro anaerobio consiste en un reactor de flujo ascendente o descendente empaquetado con soportes plásticos o piedras de tres a cinco centímetros de diámetro. Se emplea en el tratamiento de aguas residuales de casas debido a su alta resistencia a la fluctuación en caudales y al tipo de concentración de contaminantes. Este sistema regularmente se coloca después de una fosa séptica. La eficiencia de remoción para DQO está alrededor de 65 % para aguas residuales de tipo doméstico.

4.5.8.7. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente

El reactor anaerobio de lecho de lodos UASB (upflow anaerobic sludge blanqueta) pertenece a la llamada "segunda generación", éste es un reactor anaerobio avanzado. El reactor está constituido por

una cama de lodos o biomasa anaerobia granular, localizada en el fondo del reactor con un volumen aproximado de un tercio del volumen total del reactor.

En la parte superior del reactor se coloca el sistema de captación de biogás como campanas colectoras; su función radica en la captación del biogás generado y favorece la buena sedimentación de los gránulos anaerobios que pudieran haber atravesado las campanas colectoras de biogás. En la parte superior de las campanas se localiza la zona de sedimentación de lodo, libre de la agitación producida por el biogás.

La zona entre la cama de lodos y las campanas colectoras de biogás se les llama lecho de lodos. En ella se aloja el lodo expandido por la acción del biogás y la velocidad ascendente del agua.

Lo que distingue un reactor UASB es el hecho de retener dentro los microorganismos en forma de flóculos, lo que aumenta el tiempo de retención celular (TRC). Con éste es posible operar el sistema con reducidos tiempos de retención hidráulica (TRH) y con volúmenes de reactor limitados, conservando buenas eficiencias en la remoción de materia orgánica.

El UASB está compuesto de lodos granulares, imprescindibles para un correcto funcionamiento. Al echar a andar un reactor UASB, se requiere inocularlo con un volumen suficiente de biomasa. Un arranque sin inóculo es posible, dada la capacidad de algunas aguas residuales de desarrollarlo, el tiempo para alcanzar los niveles de operación deseados es alrededor de seis meses (depende del tipo de agua residual que se trate).

Con un reactor anaerobio tipo UASB nutrido con agua residual doméstica se logran eficiencias de remoción en DQO del orden de 70 a 80 %.

En algunos casos, el contenido de materia orgánica que queda en el agua tratada puede considerarse como inadecuado para su disposición. Sin embargo, costos bajos del tratamiento anaerobio permiten juntar un postratamiento aerobio, que realizaría el pulimento, conservando la ventaja económica sobre un proceso totalmente aerobio.

4.5.8.8. Reactores de lecho expandido o fluidificado

Existen reactores de alta tasa donde la biomasa se encuentra fluidificada o expandida. Este tipo de reactores se emplean para el tratamiento de aguas residuales industriales; bajo condiciones de operación continua, no es recomendable para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

4.5.9. Sistema Natural Construido tipo “Wetland”

La clave del *wetland* es que un lecho de raíces de plantas son del género *Phragmites* y *Thypha*, conocidos como carrizos y tules respectivamente, proporciona una ruta hidráulica a través de la cual fluye el agua a tratar. Esta zona se llama rizosfera y es el espacio entre los rizomas, las raíces y el suelo circundante. Las plantas aportan el oxígeno a la rizosfera a través de las hojas, tallos y rizomas de estas plantas. El agua residual se trata así aeróbicamente por la actividad bioquímica microbiana en la rizosfera y anaeróbicamente en el suelo circundante. La mayor ventaja sobre otros procesos son su

bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, además de producir un efluente de buena calidad (DBO_5 promedio de 25 mg/L).

En la Figura 4.38 se muestran las características principales de un lecho de raíces. El suelo de la zona es removido del sitio que ocupará el lecho hasta una profundidad de 1.5 m por debajo de donde fluirá el agua. El suelo de esta excavación se impermeabiliza con tierra, cemento, plástico, fibra de vidrio o asfalto para retener el agua e impedir la infiltración a través del subsuelo. La necesidad y resultado de este sistema reside en que es más barato y se adapta mejor a las circunstancias de México que los que actualmente se usan, además de que se puede combinar con otros sistemas de tratamiento para optimizar el rendimiento de todo un sistema. También, pueden llegar a ser eficientes en la eliminación de bacterias y amebas patógenas. Este método de tratamiento biológico ofrece también un aspecto agradable a la vista, incluso, en caso de sistemas más grandes, puede constituir beneficio para la vida silvestre.

SISTEMA DE LECHOS DE RAÍCES

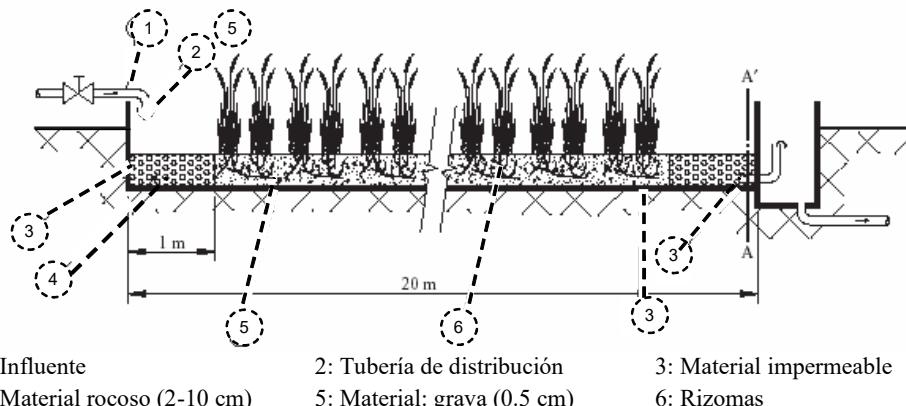


Figura 4.38 Esquema de un filtro de lecho de raíces (wetland). *Fuente: Adaptado de Solano, et al; 2004*

El suelo de esta excavación se impermeabiliza con tierra, cemento, plástico, fibra de vidrio o asfalto para retener el agua e impedir la infiltración a través del subsuelo. La necesidad y resultado de este sistema reside en que es más barato y se adapta mejor a las circunstancias de México que los que actualmente se usan, además de que se puede combinar con otros sistemas de tratamiento para optimizar el rendimiento de todo un sistema. También, pueden llegar a ser eficientes en la eliminación de bacterias y amebas patógenas. Este método de tratamiento biológico ofrece también un aspecto agradable a la vista, incluso, en caso de sistemas más grandes, puede constituir beneficio para la vida silvestre.

4.5.10. Biofiltro para el control de olores

Los biofiltros consisten en el paso del gas a través de un lecho empacado biológicamente activo, donde los contaminantes son absorbidos y degradados biológicamente por la población microbiana transformándolos a CO₂, agua y material celular renovado.

El principal componente del biofiltro es el medio biológico filtrante, donde los compuestos indeseables en el aire, en primera instancia, son absorbidos y adsorbidos para que puedan ser degradados posteriormente por los microorganismos. El material de empaque del medio biológico filtrante es una mezcla de materiales naturales con un área específica y espacios vacíos grandes, incluso, puede ser compost, tierra o turba mezclada con un abultante (hojarasca, piedras, plumas, etc.) o también, materiales cerámicos con gran cantidad de poros en su superficie. El medio posee la superficie, la humedad y los nutrientes necesarios para que en ella se desarrolle una biopelícula de microorganismos que serán los responsables de la degradación de los compuestos indeseables en el gas.

En la Figura 4.39 se presenta un esquema del proceso mencionado. Los biofiltros han sido aplicados en el tratamiento de malos olores en plantas de tratamiento con éxito, también en plantas de compostaje y de digestión de lodos.

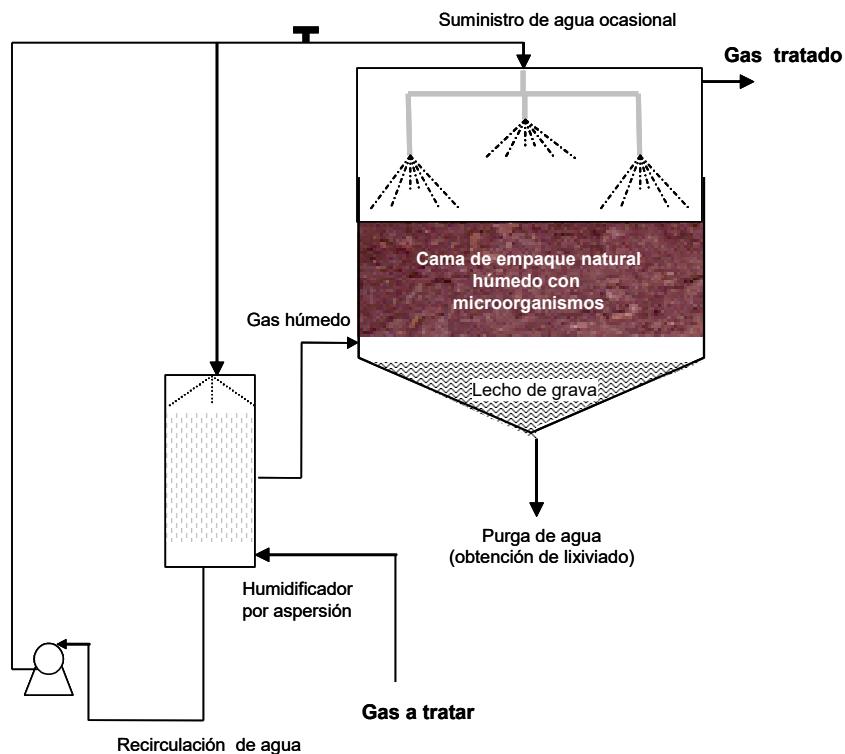


Figura 4.39 Esquema de un biofiltro. Fuente: *Elaboración propia*

4.5.11. Tratamiento *in situ* de aguas residuales en edificaciones

Para el control de las descargas residuales de tipo doméstico existen unidades compactas de tratamiento, ensambladas parcial o totalmente en el sitio de ubicación de la planta, sin equipo grande o complicado, denominadas plantas paquete, las cuales están orientadas al tratamiento inmediato después de la evacuación de las aguas residuales servidas; de ahí su denominación *in situ*.

A través de los años, el tratamiento de las aguas residuales ha seguido un esquema de tipo centralizado, es decir, que el concepto tradicional se basa en la recolección y tratamiento de las aguas residuales que son llevadas a un sistema de tratamiento central, donde se necesita un espacio grande para las instalaciones donde los costos de operación y de mantenimiento tienden a ser altos, así como el requerimiento de operadores especializados. Los países desarrollados cuentan con sistemas centralizados de colección y tratamiento de aguas residuales, en los cuales, se han alcanzado altos estándares en la calidad del agua tratada.

En la Figura 4.40 se ilustra el concepto del tratamiento centralizado, el cual, normalmente consiste en un sistema de drenaje que colecta aquellos flujos provenientes de casas habitación, comercios, pequeñas instituciones y escuelas para llevarlas a la planta de tratamiento ubicada en los límites de la ciudad o población.

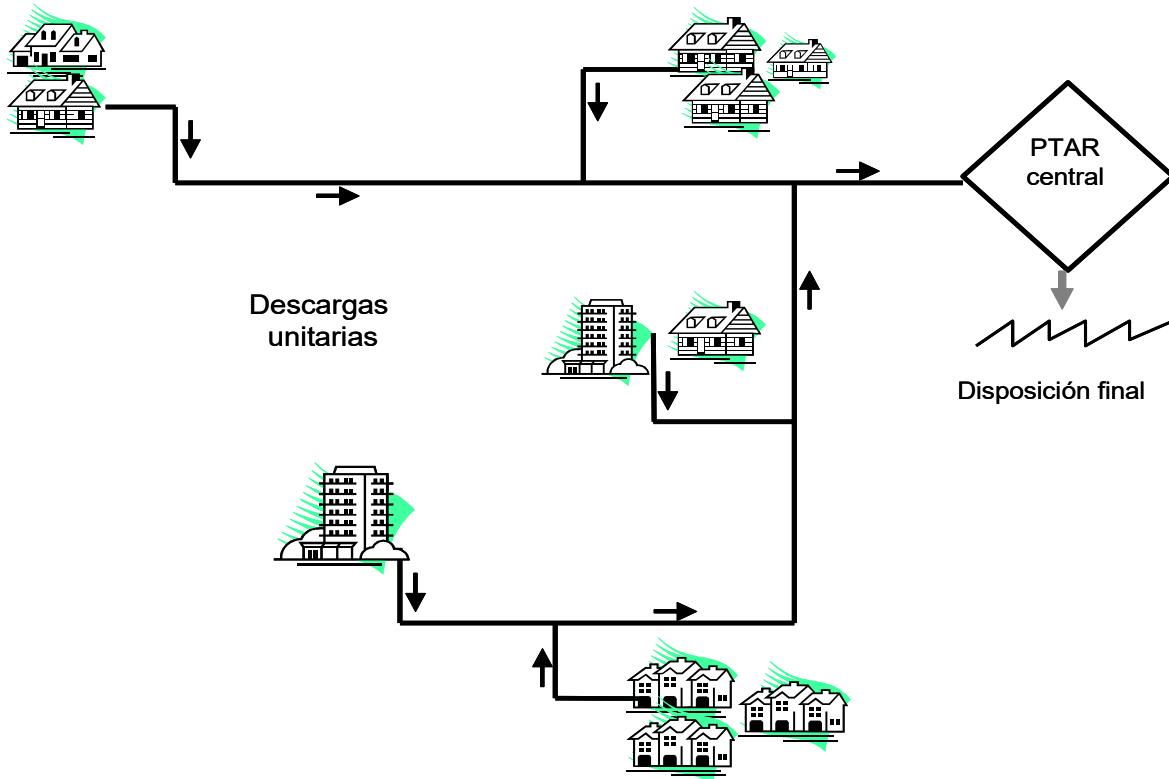


Figura 4.40 Esquema del sistema de tratamiento centralizado *Fuente: Elaboración propia*

El agua generada en cada casa, unidades habitacionales, escuelas, hospitales o industrias, puede ser tratada en el punto de origen de la descarga por un sistema de tratamiento descentralizado. El agua residual llega a la planta para ser tratada *in situ*.

Mezclar las aguas residuales de diferentes calidades y cantidades en el drenaje no es una opción viable desde el punto de vista costo-ambiente; los sistemas descentralizados se consideran importantes, dentro de un boceto de manejo sostenible del agua, así como en países desarrollados como en países en vías de desarrollo.

En la Figura 4.41 se esquematiza el sistema descentralizado para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico. La inversión que se necesita para la recolección de aguas servidas se reduce ampliamente, ya no se necesita la instalación de largas tuberías y sistemas de bombeo que conecten a la planta de tratamiento y las fallas que se presenten nos llevarían al colapso del sistema. La contaminación se reduce cuando los efluentes de PTAR (s) pequeñas de tratamiento *in situ* son vertidos en los alrededores de los centros poblacionales, en particular en algunos tipos de subsuelos. El vertido de los efluentes puede ser infiltrada en la finca, demostrándose que la DQO remanente puede ser removida hasta en 100 % a través de una profundidad de tierra entre 60 y 120 cm (Kunst, 2000).

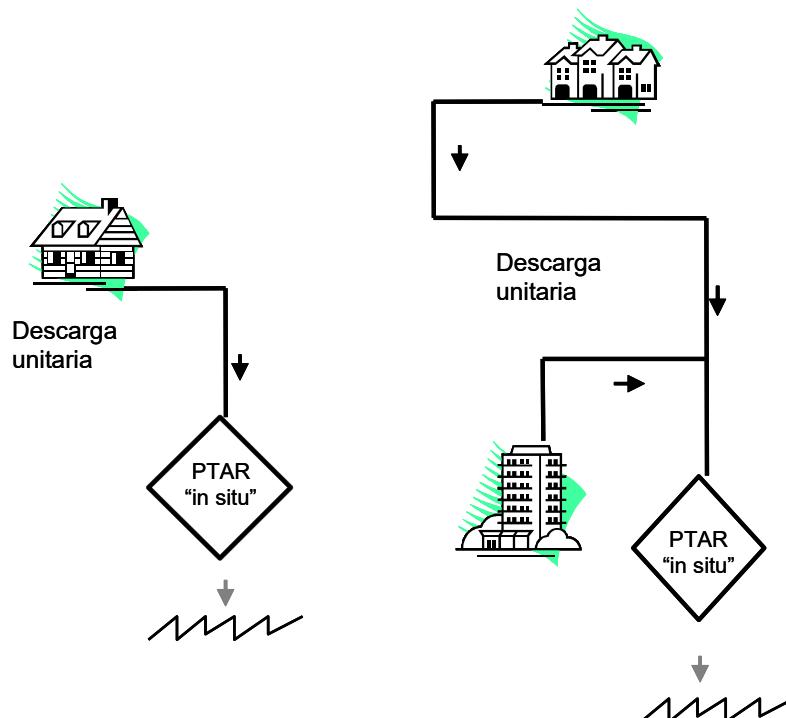


Figura 4.41 Diagrama de una PTAR descentralizado. *Fuente: Elaboración propia*

4.5.12. *Plantas de tratamiento (PTAR) in situ de aguas residuales*

En el mercado hay gran variedad de PTAR en paquete, enfocadas al tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico, que puede funcionar eficientemente y consideran un tratamiento *in situ* ideal.

El agua eficientemente tratada puede ser empleada en zonas con limitada infraestructura. El tratamiento y reúso *in situ* muestra amplias posibilidades de un manejo racional del recurso hídrico, de tal forma que se fomenten actividades que ayuden a tener un desarrollo sustentable del agua como es:

- a) ahorro en el consumo de agua potable.
- b) disminución de la contaminación en el sitio de producción.
- c) riego de áreas verdes.
- d) lavado de automóviles.
- e) infiltración en suelos adecuados.
- f) retorno para recarga de acuíferos.

El tratamiento *in situ* en México, se debe cumplir con las siguientes características:

- a) Que la planta de tratamiento posea dimensiones que permitan su instalación y operación a nivel unifamiliar, en unidades habitacionales y pequeños comercios, con márgenes de crecimiento en caso de incremento en el gasto.
- b) Que la planta sea económica en su inversión, sobre todo en los recursos destinados a su operación y mantenimiento.
- c) Que opere con eficacias tales, que cumpla con la normatividad vigente.
- d) Que el mantenimiento preventivo pueda ser efectuado por los propios usuarios.
- e) Que la planta de tratamiento no provoque molestias al usuario en relación con ruido, proliferación de vectores y malos olores.
- f) Que la planta cuente con un sistema para el tratamiento y recolección de lodo para su posterior disposición.

La planta de tratamiento debe estar conformada por procesos de tratamiento que puedan operar en forma semiautónoma cumpliendo con la legislación vigente al menos por un lapso de seis meses continuos. La planta requiere de un servicio de mantenimiento durante su vida útil, incluyendo la reparación de equipos y cambio de empaques (gravas, arenas, carbón activado, antracita, etc.).

- La planta de tratamiento (PTAR) debe estar compuesto por equipos que se les pueda dar mantenimiento *in situ* y que se tengan refacciones suficientes con tiempos de entrega aceptables. En una PTAR, se debe controlar y tratar fluctuaciones de al menos 40% del flujo de diseño, variaciones de concentración y tipo de contaminantes propios de casa y unidades habitacionales.
- La PTAR de tratamiento debe autocontener el agua que maneja, es decir, se debe evitar la infiltración a suelo del agua procesada en la planta de tratamiento.

- La planta de tratamiento debe ser capaz de resistir períodos del orden de al menos cinco horas sin alimentación de agua residual, sin que se desestabilice su operación; ello para el caso de casas habitación, unidades habitacionales, así como pequeñas industrias y comercios.
- Se recomienda que la planta de tratamiento favorezca trenes de tratamiento de aguas residuales integrados por sistemas biológicos de tratamiento y no con sistemas de tipo fisicoquímico. Ello se basa en que los sistemas biológicos tienden a ser más económicos y amigables con el medio ambiente que los sistemas fisicoquímicos.

4.6. Recomendaciones para configurar los trenes de tratamiento de aguas residuales para edificaciones con caudales bajos

4.6.1. Tratamiento preliminar

Rejillas para retener sólidos mayores a 3 cm de diámetro y/o espesor.

4.6.2. Tratamiento primario

Instalación de una fosa séptica con al menos 24 horas de tiempo de retención hidráulica considerando una descarga de 250 L por habitante al día para el caso de casas habitación.

Para unidades habitacionales con flujos bajos se deben proponer sistemas de tratamiento biológicos donde la eliminación de sólidos y grasas se efectúe por medio de sedimentación o flotación.

4.6.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario debe efectuarse por medio de sistemas biológicos aerobios o anaerobios. Si se especifica un sistema anaerobio, éste debe estar seguido de uno aerobio para dar pulimento al efluente anaerobio y alcanzar las especificaciones de la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1998) con contacto directo e indirecto en lo que respecta a la eliminación de DBO₅ del agua. Se recalca que el sistema anaerobio, por sí solo, no puede cumplir con esta norma, necesariamente debe estar seguido de un sistema aerobio.

También, pueden especificarse sistemas de tipo fisicoquímico, como la oxidación con ozono, sin embargo, hay que cuidar el aspecto de costo operativo y de mantenimiento.

4.6.4. Tratamiento terciario

Con el objeto de cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1998) se debe asegurar la eliminación de patógenos del agua junto con los huevos de helmintos.

El efluente secundario debe desinfectarse con cloro (Hipoclorito) y filtrarse. La filtración es la única forma de eliminar huevos de helminto (aparte de la temperatura superior a 65 °C, no viable para estos casos), por lo que su aplicación es indispensable para dar cumplimiento a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

4.6.5. Tratamiento de los lodos generados

Las plantas de tratamiento deberán generar lodo estabilizado para que éste pueda ser dispuesto. Ello es posible obtenerlo de la purga de sistemas anaerobios y/o de sistemas aerobios con aireación extendida. Las plantas de tratamiento deberán contemplar en su diseño los mecanismos y técnicas para facilitar la purga de los lodos ya sea por gravedad, por medio de bombeo o a vacío.

4.6.6. Control de olores

La planta de tratamiento no deberá emitir malos olores. Para ello, deberá contar con un sistema de control de olores de tipo biológico conectado con las unidades de tratamiento preliminar y primario. Se recomienda el uso del sistema biológico de control de olores por su facilidad de operación y bajo costo. Los sistemas fisicoquímicos demandan mayores recursos económicos para su operación y mantenimiento.

4.6.7. Generación de ruido

Los sistemas mecánicos de la planta de tratamiento no deberán ser audibles por los habitantes de la casa habitación más cercana a la planta de tratamiento.

4.7. Variables a considerar para la selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales

La característica del agua residual es muy importante para una buena deliberación y diseño de un proceso de tratamiento, puesto que indica los aspectos cualitativo y cuantitativo de los contaminantes presentes en el agua. Para caracterizar el agua residual se hacen pruebas de laboratorio de compuestos químicos y biológicos en muestras representativas. El número y tipo de parámetros por determinar se basa en el uso final que se le quiera dar y/o de su sitio de disposición final. Es importante considerar el destino final del agua que se genera en los centros urbanos, turísticos o industriales, no sólo las de casa.

Ya caracterizada el agua residual, es conveniente precisar su reúso o disposición final y establecer los parámetros necesarios para cumplir con la normatividad correspondiente, para determinar los componentes que deben ser removidos y la calidad del agua tratada que necesita.

4.7.1. Reúso o disposición final del agua tratada

El agua residual tratada puede ser usada en diversas actividades. Ejemplos del reúso son el riego de áreas verdes y agrícolas, lavado de autos, uso en la construcción, control de incendios, fuentes de ornato, descarga de sanitarios, recarga de acuíferos, incluso, aunque aún no económicamente factible, para consumo humano. Además, se puede reusar en el sector industrial para procedimientos de enfriamiento, para transferencia de materiales, para sanitarios y riego de jardines de áreas públicas, lo que podría ayudar a una liberación de inversión. El agua tratada puede tener cuatro tipos de disposición: 1) descarga al drenaje o alcantarillado, 2) reúso, 3) vertido en lagos, ríos y 4) recarga de acuíferos. Es recomendable ver al agua residual como un recurso, no como un desecho.

4.7.2. Método o disposición de residuos del procedimiento

El tipo y cantidad de residuos es un factor que debe tomarse en cuenta en la elección del proceso de tratamiento. El residuo tratado impacta los costos de operación y en algunas ocasiones representa un problema por su potencial contaminante. Es importante elegir un proceso garantizado de tratamiento y disponerlo en lugares apropiados con un costo adicional.

4.7.3. Condiciones ambientales

Un parámetro que afecta a los procesos biológicos es la temperatura, debido a que todas las tasas de reacción enzimáticas envueltas en la desintegración de las células de las bacterias dependen de la temperatura dentro de ciertos intervalos (Metcalf y Eddy, Inc., 2003). A temperaturas bajas, la actividad es baja y a temperaturas altas la actividad es alta. Para cada proceso hay intervalos de temperatura para una operación eficiente, paralelamente hay límites máximos y mínimos permisibles. Con respecto a áreas disponibles existen procesos que son más variables que otros y ocupan menos área. Por lo que toca el requerimiento personal se deben seleccionar aquellos procesos que requieran el mínimo de mano de obra para su operación y mantenimiento, sin que éstos sean del tipo altamente automatizado debido a su elevado costo y especializado mantenimiento.

4.7.4. Costos de inversión y operación

Este rubro es calificado como el más importante para elegir un proceso que esté íntimamente relacionado con los criterios indicados. Se deberá favorecer la aplicación de aquel proceso que, cumpliendo con una calidad de agua exigida, posea el más bajo costo de inversión, sobre todo, aquel que contenga el más bajo costo de operación y mantenimiento, pues se ha visto que este rubro es el aspecto limitante más importante para obtener continuidad en el tratamiento del agua bajo las condiciones mexicanas.

4.7.5. Procesos generales recomendados

En la Tabla 4.19 se ver una relación entre el tipo de contaminante y los métodos que se suministra para su remoción. Hay que aclarar que en esta tabla no se involucran todas las técnicas para el tratamiento de aguas, únicamente se aluden los procesos más aplicados y conocidos.

En la Tabla 4.20 se analizan las tecnologías propuestas para dar cumplimiento con la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-002 SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1998). En la Tabla 4.21 se muestran las tecnologías que ayudan a dar cumplimiento con la NOM-003-SEMARNAT-1997, se dan recomendaciones para diferentes edificaciones.

Tabla 4.19 Procesos de tratamiento aplicados para la remoción de algunos contaminantes

Contaminante	Proceso de tratamiento
Sólidos suspendidos y sedimentables	Cribado y disagregado, eliminación de arena, sedimentación, filtración, flotación, coagulación-flocculación-sedimentación.
Orgánicos biodegradables	Métodos aerobios: lodos activados, filtro sumergido, filtro percolador, discos biológicos rotatorios, lagunas aireadas. Técnicas anaerobias: fosa séptica, tanque Imhoff, laguna anaerobia, digestor completamente mezclado, digestor convencional, filtro anaerobio, reactor de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB) y reactor de lecho fluidificado. Sistemas nativos construidos.
Nitrógeno	Variantes de tecnologías que adoptan la nitrificación con la desnitrificación, sistemas nativos, desorción con amoníaco, intercambio iónico, cloración y ósmosis inversa.
Fósforo	Suplemento de sales metálicas, coagulación-flocculación-sedimentación con cal, extracción biológica de fósforo y sistemas nativos construidos.
Nitrógeno y fósforo (simultáneamente)	Plantas paquete con biomasa suspendida para la eliminación de materia orgánica con nutrientes que utilizan la nitrificación y desnitrificación biológica, así como sistemas nativos construidos.
Patógenos	Gas cloro, dióxido de cloro, hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio, ozono, luz ultravioleta y lagunas de estabilización.
Tratamiento de lodos	Digestión anaerobia, digestión aerobia, composteo, secado, incineración y estabilización con cal.

Tabla 4.20 Tecnologías propuestas para dar cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-002 SEMARNAT-1996

	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario	Lodos	Olores y/o gases	Comentario
Edificación							
Casa	NA	Sistema anaerobio tipo Fosa séptica.	Sistema anaerobio de segunda generación.	NA	Purga de lodo de la fosa séptica y enviar a planta de tratamiento municipal.	Sistema de biofiltración de gases.	Es posible que no se requiera la planta de tratamiento debido a que la descarga de una casa habitación es equiparable a la calidad del agua en el drenaje; sin embargo, pueden existir fluctuaciones en la concentración y tipo de contaminantes que lo amerite. No se desinfecta.
Conjunto habitacional y/o oficinas.	Rejillas gruesas y finas con trampa de grasas y medición de flujo.	Sedimentador primario.	Sistemas anaerobios de segunda generación	NA	Digestión y deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases.	El sedimentador primario puede no requerirse dependiendo del tipo de tecnología seleccionada en el tratamiento secundario. Los lodos deben ser tratados por la planta de tratamiento, ya sea vía anaerobia o aerobia, de tal forma que los lodos que se purguen del sistema estén estabilizados. Dependiendo del flujo a tratar, se requerirá un espesador de lodos. Es posible que no se requiera la planta de tratamiento debido a que la calidad de descarga esperada es equiparable a la calidad del agua en el drenaje; sin embargo, pueden existir fluctuaciones en la concentración y tipo de contaminantes que lo amerite. No se desinfecta. Se debe considerar la trampa de grasas al existir restaurantes y cocinas.
Plaza comercial	Rejillas gruesas y finas con trampa de grasas y medición de flujo.	Sedimentador primario, tanque de ecualización y de homogeneización.	Sistemas Anaerobios de segunda generación.	NA	Digestión y deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases.	Lo mismo que lo inmediato anterior.
Ciudades	Rejillas gruesas, desarenador y medición de flujo.	Sedimentador primario, tanque de ecualización y de homogeneización.	Sistemas Anaerobios de segunda generación.	NA	Digestión y deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases.	Lo mismo que lo inmediato anterior.
Industria en general con materia biodegradable	Rejillas gruesas y finas con trampa de grasas y medición de flujo.	Tanque de ecualización y de homogeneización.	Sistemas Anaerobios de segunda generación combinado con sistemas aerobios.	NA	Digestión y deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases para control de olores. Almacenamiento y quemado de biogás.	Puede ser que la trampa de grasas no se requiera, ello dependerá del tipo de industria. Los sistemas aerobios deberán estar limitados en su diseño para cumplir la norma y no más allá de lo especificado.

NA: no aplica. Adaptado de: SEMARNAT (2022)

Tabla 4.21 Tecnologías propuestas para dar cumplimiento a la NOM-003-SEMARNAT-1997 contacto directo

	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario	Lodos	Olores y/o gases	Comentario
Edificación							
Casa Habitación	NA	Sistema anaerobio tipo Fosa séptica.	Sistema anaerobio de segunda generación combinado con sistema aerobio o solamente un sistema aerobio.	Filtración con desinfección de agua.	Purga de lodo de la fosa séptica y enviar a planta de tratamiento municipal.	Sistema de biofiltración de gases.	Se recomienda la biomasa fija en el caso del uso de sistemas anaerobios.
Conjunto habitacional y/o oficinas	Rejillas gruesas y finas con trampa de grasas y medición de flujo.	Sedimentador primario.	Sistema anaerobio de segunda generación combinado con sistema aerobio o solamente un sistema aerobio.	Filtración con desinfección de agua.	Digestión deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases y quemado del biogás en el caso de requerirse para unidades habitacionales grandes.	El sedimentador primario puede no requerirse dependiendo del tipo de tecnología seleccionada en el secundario. Los lodos deben ser tratados por la planta de tratamiento, ya sea vía anaerobia o aerobia de tal forma que los lodos que se purguen del sistema estén estabilizados. Dependiendo del flujo a tratar, se requerirá un espesador de lodos. El quemado del biogás se requerirá en el caso del uso de sistemas anaerobios y para flujos grandes que lo ameriten, en caso contrario se ventea.
Plaza comercial	Rejillas gruesas y finas con trampa de grasas y medición de flujo.	Sedimentador primario, tanque de ecualización y de homogeneización.	Sistema anaerobio de segunda generación combinado con sistema aerobio o solamente un sistema aerobio.	Filtración con desinfección de agua.	Digestión y deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases y quemado del biogás en el caso de requerirse para unidades habitacionales grandes.	Lo mismo que lo inmediato anterior
Ciudades	Rejillas gruesas y finas, desarena-dor y medición de flujo.	Sedimentador primario, tanque de ecualización y de homogeneización.	Sistema anaerobio de segun-da generación combinado con sistema aerobio o solamente un sistema aerobio.	Filtración con desinfección de agua.	Digestión y deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases y quemado del biogás.	--
Industria en general con materia biodegradable	Rejillas gruesas y finas con trampa de grasas y medición de flujo.	Tanque de ecualización y de homogeneización.	Sistema anaero-bio de segunda generación combinado con sis-tema aerobio o solamente un sistema aerobio.	Filtración con desinfección de agua.	Digestión y deshidratado.	Sistema de biofiltración de gases para control de olores. Almacena-miento y quemado de biogás.	Puede ser que la trampa de grasas no se requiera, ello dependerá del tipo de industria.

4.7.6. Preguntas frecuentes

¿Es posible obtener agua potable con una planta de tratamiento que trate agua residual?

Técnicamente sí, es posible mediante un proceso mucho más complejo que lo tradicional y puede dar cumplimiento a la norma que especifica la potabilidad del agua; sin embargo, no es conveniente por el alto riesgo que se corre al existir alguna falla operativa en el tratamiento o a la no eliminación de algún contaminante no detectable o previsto en la norma.

¿Es posible tener un sistema de tratamiento que no genere lodos?

Ello es imposible, todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales generan lodos, en mayor o menor medida. De no ser así, se viola la ley de la conservación de la masa y la energía.

¿Se deben mezclar las aguas negras con las grises para dar tratamiento o se deben separar?

Es posible utilizar ambos criterios, dependiendo del sistema que se esté utilizando para dar tratamiento a las aguas residuales. El hecho de separar los efluentes implica una segregación de corrientes en la edificación que incrementa el costo sensiblemente.

¿Qué tecnología funciona mejor, la anaerobia o la aerobia?

La anaerobia posee ventajas y desventajas sobre la aerobia y viceversa. No es conveniente visualizar el tema preguntando qué tecnología es mejor, más bien, hay que considerar bajo el marco técnico de un proyecto, cómo deben combinarse o seleccionarse las tecnologías a aplicar para cumplir con los objetivos. En tratamiento de aguas residuales hay una diversidad de tecnologías muy grande y todas, prácticamente, se encuentran vigentes. Hay unas que tienen miles de años y otra que fueron desarrolladas apenas hace diez años. Bajo ciertas condiciones de proyecto, aquellas tecnologías milenarias funcionan mejor que las más recientes.

¿Es posible usar filtros de agua comerciales para dar tratamiento a las aguas residuales?

No si es que no están combinados con otras tecnologías. La filtración del agua tratada es necesaria para el control de los parásitos y/o huevos de helmintos, así como para terminar de pulir el agua tratada. Los filtros se especifican al final del tren de tratamiento, mas no deben iniciarlos por problemas de taponamiento u obstrucción muy frecuente.

¿En qué se puede usar el agua tratada?

Nunca para beberla o para usarla en actividades de primer uso (baño, cocina, lavabo, lavado de ropa). El agua tratada se puede utilizar para riego, lavado de coches, lavado de calles, fuentes de ornato, descarga de sanitarios etc.; además, deberá cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1998).

¿Es suficiente colocar una fosa séptica para cumplir con la norma para reúso de agua tratada?

No, la fosa séptica o cualquier otro sistema anaerobio, por sí sólo, no puede generar la suficiente calidad de agua para cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997. La fosa séptica es un sistema muy adecuado para iniciar un tren de tratamiento de aguas residuales para el caso de casas habitación o en edificaciones con pequeños flujos de agua residual, pero siempre debe ir acompañada de otros sistemas para lograr la calidad deseada.

¿Es necesario agregar microorganismos a las plantas de tratamiento para que funcionen?

No es necesario. El agua residual contiene los microorganismos requeridos para el tratamiento del agua residual. La planta de tratamiento proporciona las condiciones idóneas para su desarrollo y manutención, es decir, la planta desarrolla el microorganismo suficiente y necesario para que funcione. En algunos casos se puede especificar la inoculación de microorganismos solamente para el arranque de los sistemas, nunca para mantener constante su operación.

¿Es necesario agregar o utilizar enzimas para que funcionen las plantas de tratamiento?

No es necesario. En el mercado se ofrecen productos para inocular y mantener funcionando las plantas de tratamiento, los cuales, son innecesarios y crean dependencia económica de los mismos. Si alguna planta de tratamiento los llegara a requerir, se deduce que la planta no fue adecuadamente dimensionada o diseñada.

¿Basta con airear más una planta de tratamiento para que funcione adecuadamente o para que pueda tratar más agua residual?

No, siempre y cuando se tenga una concentración de oxígeno en el medio acuoso no menor a 2 mg/L. Incrementar la concentración de oxígeno por arriba de este valor es innecesario y solamente incrementa el consumo de energía eléctrica. No con airear más se mejora la operación de la planta, pues ella en su operación depende de otros factores que no tienen que ver con la aireación, tal como la carga orgánica volumétrica, así como el tiempo de retención hidráulica y celular.

¿Existe alguna tecnología de punta en tratamiento de aguas residuales que sustituya las tecnologías convencionales y de uso común o antiguas?

No existe una tecnología única que sustituya a las anteriores. En el campo del tratamiento de aguas residuales, todas las tecnologías existentes, hasta las más antiguas y simples, pueden tener un uso apropiado, ello dependerá de las condiciones que especifique el proyecto. No hay una tecnología en tratamiento de aguas residuales, por más reciente e innovadora que sea, que pueda ser aplicada a cualquier circunstancia, siempre habrá que considerar la combinación de tecnologías para configurar un proceso adecuado.

¿Es posible sembrar en los Wetlands plantas ornamentales o vegetales para consumo humano?

No, pues tienen contacto con agua residual y se nutren de ella, además de que es posible que muchas plantas no se adapten a las condiciones y mueran.

¿Requiere una planta casera atención permanente para su operación?

No debería ser así. Precisamente, una adecuada concepción del tren de tratamiento que conlleva la selección de tecnología debe considerar como un punto muy importante la baja atención en la operación de la misma.

¿Puede resistir una planta de tratamiento períodos sin alimentación de agua residual?

La tecnología anaerobia puede resistir adecuadamente esta situación, mas no la aerobia. Cuando se especifica un tren de tratamiento de aguas residuales para el caso de edificaciones que estén sujetas a variación en su ocupación y uso, se deberá considerar esta variable; es muy probable que la planta de tratamiento, después de un lapso prolongado sin alimentación de agua, disminuya su eficiencia (para el caso de sistemas anaerobios combinados con aerobios) o simplemente haya que arrancar de nueva

cuenta la planta (para el caso de sistemas completamente aerobios). La capacidad de re-arranque de la planta y el tiempo requerido para lograr que cumpla con la calidad requerida es uno de los factores a considerar para su selección. Para este caso en especial, algunos sistemas fisicoquímicos, como puede ser la ozonación, pueden ser de gran utilidad.

¿Cómo y dónde se generan los malos olores en una planta de tratamiento de aguas residuales?

Es de esperar, por la naturaleza de lo que trata, que una planta de tratamiento huela mal. Sin embargo, ello no es del todo cierto, pues depende de la tecnología utilizada para dar el tratamiento y de los sistemas de control de olores que pueda tener la planta de tratamiento. Los malos olores se generan por la descomposición de la materia orgánica a compuestos orgánicos y/o inorgánicos más simples en su estructura molecular que tiende a volatilizarse. Los malos olores tenderán a estar presentes en zonas de la planta de tratamiento donde no existan condiciones oxidantes (es decir, sin oxígeno molecular disuelto), tal como los sistemas de tratamiento preliminar y primario, así como en los sistemas anaerobios; sin embargo, el impacto de estos malos olores está restringido a una zona delimitada dentro de la planta de tratamiento, en el caso de no existir sistemas para el control de los mismos y no más de dos a tres metros alrededor de la fuente generadora. Una planta de tratamiento bien diseñada y operada no debe oler mal y el impacto en los alrededores de la misma, en este sentido debe ser prácticamente nulo.

¿Qué se debe hacer con el lodo de purga de las plantas de tratamiento de aguas residuales?

El lodo generado en la planta de tratamiento debe ser tratado, de preferencia, *in situ*, es decir, dentro de la misma planta de tratamiento. Con ello, se asegura que el lodo que se extrae de la planta pueda ser fácilmente dispuesto como mejorador de suelos o en un relleno sanitario. En el peor de los casos, se plantearía una incineración del lodo, cuando éste es considerado peligroso o tóxico, lo que no es de esperarse para el tratamiento de aguas residuales de origen municipal o doméstico. El lodo, una vez estabilizado, debe ser enviado a relleno sanitario o a reúso según sean sus características. Ello deberá ser manipulado por alguna institución especializada en ello.

4.8. Especificaciones técnicas de sistemas, equipos, aditamentos o accesorios

Las tecnologías descritas para ahorro y uso eficiente del agua potable, aprovechamiento tanto del agua pluvial como de las aguas grises y residuales, deben ser avaladas por los organismos públicos mediante las certificaciones que otorgan las normas, o bien, mediante los programas.

Con esta medida se podría supervisar y garantizar que sólo puedan comercializarse e instalarse aquellas tecnologías cuyas especificaciones técnicas están descritas en las Normas del Distrito Federal, que deberán cumplir al menos con las Normas Oficiales Mexicanas, cuando existan equivalentes. Se pretende que la normatividad sea incluyente de todos los accesorios, muebles, equipos, etc., para que no quede a juicio personal del usuario, el fabricante o el ejecutor de proyectos.

4.9. Especificaciones técnicas de instalación y conservación de los equipos, con base en la información del fabricante y cumplimiento de la normatividad

Este inciso es uno de los más difíciles de ejecutar, por ejemplo:

- Un usuario puede recibir su vivienda u oficina con muebles ahorradores de agua, pero al deteriorarse los reemplaza con otros más económicos, o menos eficientes, o los que encuentra en la tlapalería de la esquina (ahorradores o no).
- ¿Existe una institución que supervise que se cumplan los procedimientos de instalación o de mantenimiento durante la operación de las edificaciones?

Para resolver este punto vulnerable en el seguimiento a la instalación y mantenimiento en las edificaciones, se debe:

- Complementar las Normas Técnicas Complementarias y el Reglamento de Construcciones en el Distrito Federal (DDF, 1990), con los nuevos requerimientos para el manejo sustentable del agua en las edificaciones.
- Agregar un capítulo al reglamento, o proponer una norma y/o reglamento de mantenimiento de instalaciones para el manejo sustentable del agua en edificaciones.

4.10. Datos técnicos complementarios

En materia de ahorro de agua potable en el país, se cuenta con fabricantes en que la mayoría de sus productos están a la vanguardia a nivel internacional; para el resto de sus productos tienen el potencial para desarrollar las tecnologías.

En cambio, para aprovechamiento de aguas grises o residuales, en especial de agua de lluvia, no hay parámetros o certificados para calificar a los fabricantes, o diseñadores, o constructores que cumplan o hagan cumplir las normativas vigentes o en proceso, esto se debe considerar en las normas ambientales que se elaboran.

5. Referencias

- American Standard (2025). *WASHBROOK. Mingitorio Universal 0.5-0.3 Lpd Cascada.* Recuperado el 8 de marzo de 2025 de: <https://www.americanstandard.mx/mingitorios-top-spud/mingitorio-universal-05-30-lpd-cascada/white-6590001020>
- Argal. (2025). *Bomba para desagüe marca Aquex AQDX100.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: https://argalbombas.com.mx/filtro/aqdx100/?srslid=AfmBOooJm_ByrJbW8_yKBHAtySQ5MFGcgCJyb612qJhG7ZCDu9IYII2
- Arnal Simón, L., & Betancourt Suárez, M. (2005). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.* Ed. Trillas, México.
- Arreguín-Cortes, F., & Buenfil, R. M. (1991). *Recomendaciones para ahorrar agua en domicilios, riego a industrias.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México.
- Arreguín-Cortés Felipe (1991). *Uso eficiente del agua.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA/ Departamento del Distrito Federal, Ing. Hidráulica en México. Páginas 9-22. Recuperado de http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1274/RIH_079.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Arreguín, C. F., & Ochoa-Alejo, L. (1997). Evaluation of water losses in distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(5), 284-291.
- NHMRC. (2004). *Water Made Clear.* Australian Government, National Health and Medical Research Council. Available at: <https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines#block-views-block-file-attachments-content-block-1>
- CIDE. (2012). *Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México. Informe Final.* Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C. Convenio de Colaboración SGAPDS-GEPAPRA-DF-CIDE-11-002-RF-CC. México.
- CONAGUA. (s.f.). *SINA: Sistema Nacional de Información del Agua [Software].* Disponible en: <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- CONAGUA. (1998). *Acuerdo mediante el cual se modifican los numerales 7, 7.1, 7.2, 8.4.2, y 10 de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-CONAGUA-1998, Regaderas empleadas en el aseo corporal: Especificaciones y métodos de prueba.* Comisión Nacional del Agua, México.
- CONAGUA. (2004). *Estadística del Agua en México.* Comisión Nacional del Agua, México.
- CONAGUA. (2013). *Estadística del Agua en México.* SEMARNAT, Comisión Nacional del Agua, México.
- CONAGUA. (2015). *Mapas Libro 4. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado.* Comisión Nacional del Agua, México.
- CONAGUA. (2018). *Usos del agua.* Comisión Nacional del Agua, México Recuperado de: <https://www.gob.mx/CONAGUA/acciones-y-programas/usos-del-agua>

- CONAGUA. (2019). *Normales climatológicas por estado*. Coordinación General Del Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua, México Recuperado de: <https://smn.CONAGUA.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- CONAGUA. (2021). *Sistema Nacional de Información del Agua*. GeoSINA. Comisión Nacional del Agua, México. Recuperado de: <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/>
- CONAFOVI. (2005). *Guía para el uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales*. Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda. México.
- CONAPO. (2012). *Nuevas Proyecciones de la Población de México 2010-2050*. SEGOB, Consejo Nacional de Población, México.
- Coflex (2025). *AIREADOR AHORRADOR DE AGUA AI-500*. Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: https://www.coflex.com.mx/es_MX/products/view/1060
- Dávalos Nava, L. (2021). Estrés hídrico en las cuencas de la región del Valle de México: las cuencas hidrográficas como unidad de gestión territorial sostenible. *Tesis para optar por el grado de Maestro en Urbanismo, UNAM*.
- DIN. (1986). Prüfverfahren, zeitspannen und anlásse für die dichtheitsprüfung Abwasser, standard1986-100. Beuth, Alemania. Dienstleister für Normung und Standardisierung.
- Dupont Enríquez, Z. S., Vazquez, L. A., & Ochoa, A. L. (1993). *Manual de control de fugas*. Comisión Nacional del Agua, SGHUI-IMTA, México.
- FAO. (2018a). *Progresos en el nivel de estrés hídrico*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Freewater UK Limited (2007). *Arreglo de un sistema tecnificado para el uso eficiente de las aguas pluviales*. <https://find-and-update.company-information.service.gov.uk/company/04252157/filing-history?page=2>
- Fuentes-Mariles, O., Palma Nava, A., & Rodríguez Vázquez, K. (2011). Estimación y localización de fugas en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 12(2), 235-242. FI-UNAM.
- García, B. A. & Cortés M. P. (1989a). *Evaluación del funcionamiento hidráulico de una llave para lavabo automática marca Watermatic*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México.
- García, B. A. & Cortés M. P. (1989b). *Informe final del Proyecto UE-9003*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México.
- García, O. J. (1991). *Aprovechamiento de las aguas residuales en la Empresa Rivetex*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México.
- Gimbel Mexicana. (s.f.). *Regadera ahorradora AQUANOMIC ACH-11C*. Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://gimbelmexicana.com/gimbel/store/articulo/18259>
- Grisham, A. & Flemming W. (1989). Long Term Options for Municipal Water Conservation, *Journal of the American Water Works Association*, March, EUA.
- Gobierno del Reino Unido. (2009). *Market transformation programme (Programa de transformación del mercado para productos sustentables)*. United Kingdom.
- Gobierno de Australia (2009). *Water Efficiency Labelling and Standards (WELS)*. 3 septiembre. Australian Government.
- Gold Coast City Council (2005). *Draft Interim Rainwater Tank Guidelines*. Australia.
- González, A. (2016). *Migración: Como fenómeno social vulnerable y salvaguarda de los derechos humanos*, Visor de artículos científicos.
- González, A. (2016a). *La región hidropolitana de la Ciudad de México. Conflicto gubernamental y social por los trasvases Lerma y Cutzamala*. Recuperado de: <http://mexicanadesociologia.unam.mx/index.php/v81n1/63-v81n1/316-v81n1-a10>
- Icerabath. (2025) *VISTA II One-Piece Toilet*. Recuperado 8 de marzo de 2025 de: <https://icerabath.com/product/vista-ii-one-piece-toilet>
- IMTA. (1989). *Manual para la organización de la macromedición*, serie didáctica 8, Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Cuernavaca, Morelos, México.

- IMTA. (2003). B25 *Manual para el uso eficiente y racional del agua. Utiliza sólo la necesaria.* Instituto Mexicano de Tecnología del agua Ed. Víctor J. Bourguett Ortiz, Jorge A. Casados Prior, Víctor H. Mireles Vázquez, Elizabeth González Soberanis, M. Patricia Hansen Rodríguez, Mario O. Buenfil Rodríguez, & Ma. Teresa Cervantes Quintana. México organización de la macromedición, serie didáctica 8, Cuernavaca, Morelos, México.
- INIFED. (2012). *Infraestructura educativa. Criterios normativos CN-003-Guía para el diseño de núcleos sanitarios.* Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, México.
- Kingspan Water. (2009). *Kingspan Water Guide to BS 8515:2009 British Standards.* Rainwater Harvesting Systems. Code of Practice. Inglaterra.
- Kularatne, K.; Dissanayake, D. & Mahanama, K. (2003). Contribution of Dissolved Sulfates and Sulfites in Hydrogen Sulfide Emission from Stagnant Water Bodies in Sri Lanka *Chemosphere*, 52, pp. 901-907.
- Kunst, S. (2000). Capacity of Small Wastewater Treatment Plants and their Effects on the Groundwater *Water Science Technology*, 4 (19, pp. 85-88).
- La Casa Ecológica.. (2014). *Ahorrar agua con perlizadores.* Recuperado de: <http://lacasaecologica.es/agua/ahorrar-agua-con-perlizadores/>
- La Casa Ecológica. (2025). *La casa económica ecológica-Agua: Ahorrar agua con perlizadores.* 2 de junio de 2014. Barcelona, España. Recuperado de: <http://lacasaecologica.es/agua/ahorrar-agua-con-perlizadores>
- Metcalf y Eddy Inc. (2003). *Wastewater Engineering, treatment and reuse.* Cuarta edición, McGrawHill. E.U.
- Mourais. (1860). Aguas residuales: Tratamiento primario, 1.1 Fosa Séptica.
- Mun, J. S., & Han, M. Y. (2012). *Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: Definition, sensitivity and verification.* Journal of Environmental Management. 93, 147-153.
- Naturalplanet. (2025). *Sanitario Seco separador de líquidos y sólidos-Fibra de Vidrio.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://naturalplanet.com.mx/product/sanitario-seco-separador-de-liquidos-y-sólidos>
- Ochoa, L.; Camacho, C. A.; Enríquez, Z. S. & Maldonado, S. J. (1990). *Resumen del Informe final del Proyecto Detección y Control de Fugas a Impacto de Micromedición en Guaymas, Son,* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Mor., México.
- Ochoa, L., Camacho, C. A., Enríquez Z. S. & Maldonado S. J. (1993). *Análisis de la información del estudio de actualización de dotaciones en el país,* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Mor., México.
- Ortiz, J., Masera, O. & Fuentes, A. (2014). *La ecotecnología en México.* Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Morelia (México).
- PROFECHO. (2007). *El laboratorio PROFECO reporta: Lavadoras de ropa automáticas* (Periodo de muestreo: 8 de enero a 16 de febrero de 2007). *Revista del Consumidor.* México.
- PROFECHO. (2011). *El laboratorio PROFECO reporta: Estudio de calidad: regaderas para aseo corporal. NO LA RIEGUES* (Periodo de muestreo: 13 de diciembre de 2010 al 21 de enero de 2011). *Revista del Consumidor.* México.
- Rainharvest. (2009). *Rain filters.* Australia. *Graf Minimax Pro Internal Rainwater Filter.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://www.rainharvest.com/graf-minimax-pro-internal-rainwater-filter.asp>
- Rain Harvesting. (2009). Rain Water Harvesting. Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://www.rainwaterharvesting.co.uk/product/rain-director/>
- Ranade, V. & Bhandari, V. (2014). *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse.* Reino Unido: Butterworth- Heinemann
- ROTOMEX®. (2023). *Tinacos.* Recuperado de: <https://rotomex.com/tinacos/>
- Sciencedirect.com. (2024). Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511003001922>
- Saavedra, S. J. C. (1991). Medición del Agua en las Ciudades Mexicanas. Un esfuerzo Institucional, *Memorias del Seminarios Internacional sobre Uso Eficiente del Agua,* México.
- Sedapal. (s.f.). *Servicio Agua Potable y Alcantarillado de Lima.* Recuperado el 8 de marzo de 2025 de: <facebook.com/SedapalOficial/>

- SEMARNAT. (1998). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Qué establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ,México.
- SEMARNAT. (2016). *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-002-CONAGUA-2015, Aparatos y accesorios de uso sanitario.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- SEMARNAT. (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-001 SEMARNAT-2021. Norma que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 11 de marzo del 2022. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- SLOAN REPAIR.COM. (2019a). *Sloan Uppercut Flush Valve.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://sloanrepair.com/blogs/blog/sloan-uppercutf-flush-valve>
- SLOAN REPAIR.COM. (2025a). *Sloan WES-212-A Dual Flush Handle Assembly (For Royal and Regal).* Recuperado el 8 de marzo de 2025 de: <https://sloanrepair.com/products/sloan-dual-flush-handle-assembly>
- SLOAN. (2025b). *SF-2150 Sloan Baterías-Energizado Cubierta-Montado Bajo Cuerpo Llave.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://www.sloan.com/es/commercial-bathroom-products/faucets/sloan/sf-2150>
- SLOAN. (s.f.). *WES-400 Porcelana Seco Mingitorio.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://www.sloan.com/es/commercial-bathroom-products/urinals/wes-4000>.
- SLOAN. (s.f.a). *.HYB-1000 Vitreous China Hybrid Urinal.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de <https://www.sloan.com/commercial-bathroom-products/urinals/sloan-vitreous-china/hyb-1000>
- SLOAN. (s.f.b). *HYB-1000-RET.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://www.sloan.com/es/design/innovations/innovations-water-savings/hybrid-urinals>.
- Solano M.L, Soriano P, Ciria M.P (2004) Constructed Wetlands as a Sustainable Solution for Wastewater Treatment in Small Villages, *Biosystems Engineering*, Volume 87, Issue 1, Pages 109-118, ISSN 1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.10.005>
- Stangl, W. (2019). Data: *Lago Texcoco*, 18th century-HGIS de las Indias. Recuperado de: <https://doi.org/https://doi.org/10.7910/DVN/DOT5EY>
- Surtidor. (2025). *Sistema Dual Para W.c. Dica Kd4056p Blanco.* Recuperado el 8 de marzo de 2025 de: <https://www.surtidor.com/sistema-dual-para-wc-dica-kd4056p-blanco-11005842520.html>
- Technik SIPS A. 3P. (2023). *Technik SIPS A.* México. Recuperado de: <https://www.facebook.com/3PTechnikMX>
- Tilley, E.; Ulrich, L.; Lüthi, C.; Reymond, P.; Schertebleib, R. y Zurbbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.* Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (EAWAG), 2^{da} edición. Dübendorf, Suiza.
- Waterwise. (2007). *Washing Machine Rankings.* Reino Unido.
- Wisy-water. (2025). *Zisterne einbauen-Was Sie wissen müssen [Instalación de una cisterna: lo que necesita saber].* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://wisy-water.com/zisterne-einbauen-was-sie-wissen-müssen>
- Ysunza, A., López, L., Martínez M. & Díez-Urdanivia, S. (2010). *Sanitarios secos con separación de orina en un área rural,* Tututepec, Oaxaca, México. Caso de estudios de proyectos de SuSanA. México D. F. (México): Alianza de saneamiento sostenible (SuSanA)
- Zepeda C. Sergio. (2008) Manual de Instalaciones hidráulicas, Sanitarias, aire, gas y vapor. 2da edición. 692 P. Ed. LIMUSA, México.ISBN-13: 978-968-18-5574-1
- 3P Technik Filtersysteme GmbH. (2023a). *3P Rainus Filtro de bajante.* Recuperado de: <https://www.3ptechnik.es/3p-fallrohrfilter-rainus.html>
- 3P Technik Filtersysteme GmbH. (2023b). *Filtro de instalación en el suelo 3P Filtro VF1 con extensión telescopica.* Recuperado de: <https://www.3ptechnik.es/3p-erdfilter-volumenfilter-vf1-mit-teleskopverlaengerung.html>
- 3P Technik UK. (2025.). *CALMED INLETS.* Recuperado el 08 de marzo de 2025 de: <https://www.3ptechnik.co.uk/rainwater-harvesting/calmed-inlets>

Las Series del Instituto de Ingeniería describen los resultados de algunas de las investigaciones más relevantes de esta institución. Con frecuencia son trabajos in extenso de artículos que se publican en revistas especializadas, memorias de congresos, etc.

Cada número de estas Series se edita con la aprobación técnica del Comité Editorial del Instituto, basada en la evaluación de árbitros competentes en el tema, adscritos a instituciones del país y/o el extranjero.

Actualmente hay tres diferentes Series del Instituto de Ingeniería:

SERIE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Incluye trabajos originales sobre investigación y/o desarrollo tecnológico. Es continuación de la Serie Azul u Ordinaria, publicada por el Instituto de Ingeniería desde 1956, la cual actualmente tiene nueva presentación y admite textos en español e inglés.

SERIE DOCENCIA

Está dedicada a temas especializados de cursos universitarios para facilitar a estudiantes y profesores una mejor comprensión de ciertos temas importantes de los programas de estudio.

SERIE MANUALES

Abarca manuales útiles para resolver problemas asociados con la práctica profesional o textos que describen y explican el estado del arte o el estado de la práctica en ciertos temas. Incluye normas, manuales de diseño y de laboratorio, reglamentos, comentarios a normas y bases de datos.

**Las Series del Instituto de Ingeniería pueden consultarse gratuitamente
desde la dirección electrónica del Instituto <http://www.ii.unam.mx>
(<http://aplicaciones.iingen.unam.mx/ConsultasSII/Buscarpublicacion.aspx>)
y pueden grabarse o imprimirse en formato PDF desde cualquier computadora.**



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM®**