



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS
MUNICIPALES QUE INCLUYEN ÓSMOSIS INVERSA ENTRE SUS
PROCESOS, LOCALIZADAS EN LA ALCALDÍA IZTAPALAPA.**

TESINA

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA

PRESENTA:

ING. ENRIQUE CONTRERAS LIRA

DIRECTOR DE TESINA: DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO

JUNIO 2022

Página en blanco (Biblioteca)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi querida Universidad Nacional Autónoma de México y todo su personal, por abrirme las puertas al conocimiento; a la Facultad de Ingeniería, por darme la mejor formación profesional y un espacio donde he conocido a personas maravillosas; y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por brindarme el apoyo económico tan útil para dar mi mejor esfuerzo en este posgrado.

A mi tutor y director de tesina el Dr. Enrique César y a la Mtra. Alba Vázquez, que me han apoyado de tantas maneras y me han brindado grandes oportunidades en la vida para ser un mejor Ingeniero y una mejor persona, gracias por confiar en mí.

A todos los miembros del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, quienes han sido mis profesores y afortunadamente ahora son mis amigos y colegas, les agradezco su paciencia y las enseñanzas que me han dado.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mis padres Pilar y Enrique, han sido mi mayor motivación para cumplir esta meta, pues he aprendido de ustedes el valor del esfuerzo y la dedicación que son capaces de lograrlo todo, gracias por su infinito apoyo y por toda mi vida. Esto también es por ustedes Isaac y Marco, hemos crecido y aprendido de tantos momentos juntos, les agradezco por toda su alegría, me dan fuerzas para intentar ser un mejor hermano para ustedes cada día.

Dedico este trabajo a mi familia entera que siempre me ha apoyado para seguir adelante, especialmente a mis padrinos y a mis tíos. Rosario y Xóchitl, gracias por siempre compartir una risa o un consejo conmigo; Jesús, gracias por ser como un hermano mayor para mí, escucharme y guiarme en tantas ocasiones; y César, gracias por enseñarme cómo se es un gran Ingeniero.

A mis mejores amigos Karla, Cecilia y Alejandro y a mi novia Viviana, ustedes y su familia me han hecho sentir parte de un nuevo hogar, gracias por todo su tiempo, las pláticas, las comidas, la confianza, el cariño y en especial por tantos recuerdos que viven en mi mente y en mi corazón; cuenten conmigo por siempre.

A todos mis compañeros y amigos de la universidad y a mis camaradas músicos; y a todos aquellos que alguna vez creyeron en mí, son parte de esto.

Sinceramente, este espacio es corto para expresarles mi gratitud, espero que Dios me brinde el tiempo para compartir con ustedes toda una vida llena de felicidad. Gracias, por todo.

- Enrique Contreras Lira

CONTENIDO

Índice de tablas	7
Índice de figuras	9
I. Introducción.....	10
II. Justificación del trabajo	12
III. Objetivos, alcances y limitaciones.....	13
III.1 Objetivo general	13
III.2 Objetivos específicos	13
III.3 Alcances y limitaciones	14
IV. Antecedentes.....	15
IV.1 Normatividad aplicable a la calidad del agua para uso y consumo humano	15
IV.2 Condición actual del servicio	17
V. Descripción de la zona de estudio.....	19
V.1 Acuífero que subyace	21
VI. Marco Teórico.....	25
VI.1 Ósmosis	25
VI.2 Ósmosis inversa	26
VI.2.1 Ósmosis inversa como proceso de membrana	27
VI.2.2 Ósmosis Inversa en la potabilización de agua para consumo humano	28
VI.2.3 Materiales de membrana y configuraciones.....	30
VI.2.4 Problemas de la operación unitaria Ósmosis Inversa	33
VII. Recopilación de datos e información	35
VII.1 PTACH a evaluar y fuente de abastecimiento.....	39
VII.2 Trenes de tratamiento en las PTACH a evaluar.....	39
VII.3 Parámetros del afluente y efluente de las PTACH a evaluar	41
VII.4 Principales contaminantes en el agua del afluente para las PTACH en Iztapalapa....	42
VIII. Resultados. Evaluación del funcionamiento de las PTACH con Ósmosis Inversa.....	46
VIII.1 Normatividad y manuales.....	46

VIII.2 Relaciones y problemáticas directas	52
IX. Análisis de resultados	56
X. Conclusiones	60
XI. Referencias	62
XII. Anexos.....	64
XII.1 NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. (DOF, 2000).	64
XII.2 Estudio sobre el estado actual de mantos acuíferos, la explotación de pozos, el abasto real y la demanda actual y potencial del líquido en la ciudad de México. (Macías García & Mazari Hiriart, 2018).....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Cobertura de agua entubada, saneamiento básico y tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años.	11
Tabla IV-1. Tratamientos para la potabilización del agua recomendados por la NOM-127 según los parámetros excedidos de diversos constituyentes.	16
Tabla IV-2. Población, gasto total y dotación por Alcaldía.	18
Tabla V-1. Demografía de la Alcaldía Iztapalapa.	19
Tabla V-2. Comportamiento poblacional en Iztapalapa y la CDMX.	20
Tabla V-3. Cantidad de años en los que parámetros de calidad del agua han superado los límites de la NOM-127 en pozos de Iztapalapa durante el periodo 2002 – 2017.	24
Tabla VI-1. Procesos de membrana y contaminantes objetivo.	27
Tabla VI-2. Potencial de remoción de tecnologías de membrana.	28
Tabla VI-3. Comparación entre los principales materiales de membrana.	34
Tabla VII-1. Características disponibles de las PTACH en Iztapalapa según diversas fuentes de información.	36
Tabla VII-2. Trenes de tratamiento en PTACH con OI en la Alcaldía Iztapalapa.	40
Tabla VII-3. Calidad del agua en el afluente y efluente de las PTACH en Iztapalapa con OI en 2019.	41
Tabla VII-4. Cantidad de años en los que parámetros de calidad del agua han superado los límites de la NOM-127 en el influente de PTACH estudiadas durante el periodo 2002 – 2017.	42
Tabla VII-5. Parámetros del afluente a las PTACH a evaluar. Valores máximos en mediciones previas al 2015.	44
Tabla VII-6. Parámetros del afluente a las PTACH a evaluar. Valores mínimos en mediciones previas al 2015.	45
Tabla VIII-1. Tratamientos para la potabilización del agua recomendados por la NOM-127 para los parámetros contaminantes más frecuentes en las PTACH de estudio.	47
Tabla VIII-2. Principales contaminantes en las PTACH de estudio, trenes de tratamiento y observaciones respecto a la NOM-127.	48
Tabla VIII-3. Tratamientos para la potabilización del agua recomendados por el MAPAS 24 para los parámetros contaminantes más frecuentes en las PTACH de estudio.	49
Tabla VIII-4. Principales contaminantes en las PTACH de estudio, trenes de tratamiento y observaciones respecto al libro 24 del MAPAS.	51
Tabla VIII-5. Eficiencia en la remoción de contaminantes de las PTACH estudiadas, en 2019 y en porcentaje.	53
Tabla VIII-6. Remoción de contaminantes de las PTACH estudiadas, en 2019.	54

Tabla VIII-7. Problemáticas específicas asociadas a los sistemas de Ósmosis Inversa.	55
Tabla IX-1. Análisis de la eficiencia en la remoción de contaminantes de las PTACH operando en 2019 en Iztapalapa y que tienen Ósmosis Inversa como proceso de tratamiento principal.	57
Tabla XII-1. Límites máximos permisibles para parámetros de calidad en el agua potable.	64
Tabla XII-2. Lista de parámetros de calidad del agua seleccionados para la sistematización de la información (Tabla 2).	66
Tabla XII-3. Concentración promedio de parámetros fisicoquímicos y de compuestos inorgánicos en agua de los pozos muestreados en la CDMX durante el periodo junio-agosto de 2018 (Tabla 4).00	66
Tabla XII-4. Detección de bacterias indicadoras muestreadas en pozos de la CDMX durante junio-agosto de 2018 (Tabla 5).	68
Tabla XII-5. Parámetros de calidad del agua para [...] pozos de extracción de la [...] [Alcaldía Iztapalapa], las celdas marcadas en rojo son valores fuera de la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) (ANEXO III, Tabla 1, pág. 243).....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura V-1. Localización de pozos en Iztapalapa.	21
Figura V-2. Mapa de la Disponibilidad de los Acuíferos en México, 2020.	22
Figura V-3. Información básica del Acuífero “Zona Metropolitana de la Cd. De México”, subyacente a Iztapalapa y la CDMX.	22
Figura VI-1. Flujo hidrostático y flujo osmótico, experimento representativo de la ósmosis. .	26
Figura VI-2. Configuración típica de los sistemas de potabilización mediante Nanofiltración u Ósmosis Inversa.....	30
Figura VI-3. Membranas celulósicas.	31
Figura VI-4. Membranas compuestas por polímeros.	31
Figura VI-5. Membrana de OI de espiral enrollable.	32
Figura VII-1. Plantas potabilizadoras en la Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México.	37
Figura VII-2. Plantas potabilizadoras en Iztapalapa que se evaluarán.	38

I. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México (CDMX) forma parte de la Región Hidrológico-Administrativa XIII “Aguas del Valle de México” y tiene un complejo sistema de fuentes de abastecimiento de agua potable para los 9’209,944 habitantes que se contaron en el Censo de Población y Vivienda en 2020 (INEGI). Para 2020, la CDMX tenía una demanda de 31,200 m³/s de agua potable, la cual se satisface con 15,600 m³/s de agua superficial del Sistema Cutzamala (65%), del Sistema Lerma (29%) y de Manantiales y el Río Magdalena (6%, CDMX); y 15,600 m³/s con agua subterránea mediante extracción en pozos fuera de la Ciudad (23%) y en su interior (77%) (SACMEX, 2020).

Entonces, de las fuentes de abastecimiento al interior de la CDMX, los pozos son la principal fuente con 12,000 m³/s de extracción. Esta agua, en su mayoría, deberá ser dirigida a plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano (PTACH). En el *Inventario Nacional de plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación* se tiene registro de que en diciembre de 2019 habían 49 PTACH en operación dentro de la CDMX, con una capacidad instalada para tratar hasta 5,641 m³/s.

De las 49 PTACH en operación en la CDMX, 24 (poco menos del 50%) se encuentran en la alcaldía Iztapalapa y la Comisión Nacional del Agua establece que 12 de ellas incluyen en su tren de tratamiento incluyen el proceso de ósmosis inversa y posteriormente desinfección (CONAGUA, 2019).

El suministro de agua potabilizada y de saneamiento en las viviendas implica una serie de acciones que afecta positivamente y de manera directa la salud de la población, el acceso adecuado a estos servicios es indispensable para reducir la mortalidad y morbilidad (CONAGUA, 2021). Una evidencia de lo anterior se puede apreciar al analizar la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años en la Tabla I-1. El SINA¹ establece que en Iztapalapa para el año 2020: la cobertura de acceso al agua² era 99.72%, la cobertura de alcantarillado³ era 99.93% y la eficiencia de cloración era 91.34%.

¹ Sistema Nacional de Información del Agua. A cargo de la Comisión Nacional del Agua y el Gobierno de México.

² Ocupantes en vivienda con agua potable

³ Ocupantes en vivienda con drenaje

Tabla I-1. Cobertura de agua entubada, saneamiento básico y tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años.

	30/06/1990	30/06/1995	30/06/2000	30/06/2005	30/06/2010	21/03/2015	2020
Cobertura de agua potable %	78.4	84.6	87.8	89.2	90.9	95.3	98.8
Cobertura de alcantarillado %	61.5	72.4	76.2	85.6	89.6	92.8	99.7
Tasa de mortalidad debido a enfermedades diarreicas en menores de 5 años cada 100,000 habitantes	123.7	56.4	26.9	20.3	9.1	7.3	3.4

Nota: Elaborada con base en (CONAGUA, 2021) e (INEGI, 2020).

La Alcaldía Iztapalapa fue por 25 años (1960 – 1995) uno de los destinos predominantes de las familias que buscaron un lugar donde vivir al interior del -en aquel entonces- Distrito Federal, provenientes de otras alcaldías o incluso de otros estados (PAOT, 2017). Esto se puede ver reflejado con las tasas de crecimiento poblacional mostradas en la Tabla V-2 del Capítulo V en este documento.

El incremento y concentración de la población en la Alcaldía ha provocado mayor demanda de servicios como el agua potabilizada y una sobreexplotación alarmante de los acuíferos subyacentes. Esto, a su vez, ha tenido como consecuencia la disminución de la calidad del agua o incluso contaminación de las fuentes subterráneas y superficiales. Esto sin mencionar los problemas de hundimientos regionales y las afectaciones al ecosistema.

Al contar con datos respecto a parámetros de calidad del agua en el afluente y efluente de las plantas potabilizadoras, es posible analizar el cumplimiento de la normatividad aplicable y determinar qué parámetros rebasan los límites máximos permisibles para así generar el conocimiento que dé pie a una reingeniería de los procesos con los cuales mejore la calidad del tratamiento del agua con la que operan actualmente las PTACH.

II. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La potabilización tiene como objetivo evitar riesgos a la salud humana por enfermedades de tipo hídrico, al convertir agua contaminada en apta para uso y consumo. Existe una amplia variedad de operaciones unitarias que se utilizan para eliminar prácticamente cualquier contaminante presente en el agua, y su aplicación depende del tipo y concentración de éste. Se puede decir que cualquier agua, por muy contaminada que esté, se puede tratar hasta llevarla a calidad potable; sin embargo, los costos y la complejidad del sistema hacen que muchas veces esto sea inoperante y costoso [...]. (Bañuelos Díaz, 2021)

Con información del *Inventario Nacional de plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2019*, se establece que en la Ciudad de México -para el año 2019- existen 49 plantas potabilizadoras en operación, de las cuales 25 (51%) se encuentran en la Alcaldía Iztapalapa y potabilizan un caudal de 2,492.0 l/s que corresponde a casi el 50% de los aproximadamente 5 m³/s que consume la Alcaldía.

Es de conocimiento público que el Organismo Operador ha tenido problemas con la calidad del agua en algunas de las plantas potabilizadoras en la Alcaldía. De las 25 plantas en funcionamiento, se estima que 12 de ellas incluyen el proceso de ósmosis inversa y posteriormente desinfección.

Con los diagramas de flujo de procesos correspondientes a estas 12 plantas y con la información de la calidad del agua en su afluente y efluente, se plantea realizar la evaluación de su operación. Se espera identificar las problemáticas que puedan tener las plantas que trabajan bajo este esquema, y recomendar las técnicas o medidas de solución que puedan mejorar las condiciones del servicio.

III. OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES

En este capítulo se incluyen los objetivos generales y específicos que se intenta cumplir al término de este trabajo, estableciendo los alcances y limitaciones que acotarán las fuentes de los datos e información consultados para la evaluación de la operación de plantas potabilizadoras en Iztapalapa.

III.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el funcionamiento de plantas de tratamiento de agua para uso y consumo humano, basadas en tecnología de ósmosis inversa, ubicadas en la Alcaldía Iztapalapa, a partir de los diagramas del tren de procesos y de la calidad del agua del afluente y efluente.

III.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Hacer una revisión documental digital de la información disponible respecto a las PTACH en Iztapalapa, en cuanto a sus procesos y calidad del agua, así como el origen del afluente y la mayor cantidad posible de sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

Diseñar una matriz de verificación con la cual se agrupe la información de las PTACH para definir cuáles son aquellas de las que se tiene más información y establecer las que se someterán a una evaluación.

Crear un mapa que señale la ubicación de las plantas potabilizadoras en Iztapalapa y destacar aquellas que incluyen el proceso de ósmosis inversa y serán estudiadas.

Seleccionar los indicadores, parámetros o características pertinentes para la evaluación de la operación de estas plantas potabilizadoras.

Determinar si existe alguna relación entre las características operacionales de las PTACH o si es que algunas características del agua se repiten en su correcto o incorrecto funcionamiento.

III.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Los datos de los parámetros de la calidad del agua del afluente y efluente de las plantas potabilizadoras se obtuvieron de la Tesis para Maestría de la I. Esp. Laura Elena Moreno Rivera, titulada *Desarrollo de mapas de riesgo de calidad de agua en sistemas de abastecimiento*.

Información adicional de los trenes de tratamiento de las PTACH será consultada en la Tesina para Especialidad de la I. Alejandra Campos López, titulada *Potabilización del agua para suministro en la Ciudad de México*. Además, toda la información será complementada con estudios e informes de dependencias gubernamentales, publicaciones de organismos operadores y otras fuentes cibergráficas referentes al tema de estudio.

Se generarán tablas de verificación para establecer cuáles son las plantas potabilizadoras de las cuales se dispone información respecto a la calidad de agua en el afluente y efluente, a los trenes de tratamiento, a su ubicación y a las capacidades instaladas y de operación.

La ubicación de las plantas potabilizadoras estudiadas será integrada y presentada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado en el software QGIS en su versión 3.20.3, con la intención de presentar su distribución espacial al interior de la Alcaldía.

Se establecerán las operaciones y procesos unitarios recomendados por CONAGUA en el *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS)* según los parámetros de calidad en los afluentes de cada planta potabilizadora en estudio.

IV. ANTECEDENTES

Se describe a continuación el panorama general de la situación actual del recurso hídrico en la Ciudad de México e Iztapalapa. Además, es relevante mencionar cuál es la normatividad que rige los parámetros de calidad del agua en la alcaldía de estudio y cuáles son las características y parámetros principales que tiene como alcance.

IV.1 NORMATIVIDAD APLICABLE A LA CALIDAD DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO

Principalmente, se tiene la Modificación a la Norma Oficial Mexicana *NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*⁴, en este documento se establece cuáles son los “límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor” (DOF, 2000).

Los límites permisibles de parámetros de calidad del agua se pueden dividir en los siguientes grupos y se pueden revisar con detalle directamente en la NOM-127, así como en el ANEXO XII.1 de este documento:

- Características microbiológicas (2 parámetros).
- Características físicas y organolépticas (3 parámetros).
- Características químicas (39 parámetros).
- Características radiactivas (2 parámetros).

La NOM-127 establece cuáles son los tratamientos recomendados para la potabilización de agua, en función de aquellos parámetros que excedan los límites permisibles. En la Tabla IV-1 se resumen estas recomendaciones según los grupos de parámetros o características previamente enlistados.

⁴ NOM-127 de aquí en adelante

Tabla IV-1. Tratamientos para la potabilización del agua recomendados por la NOM-127 según los parámetros excedidos de diversos constituyentes.

Parámetro que excede el límite permisible	Tratamiento recomendado para la potabilización
Contaminación microbiológica	
Bacterias, helmintos, protozoarios y virus	Desinfección con cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz UV; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas.
Características físicas y organolépticas	
Color, olor, sabor y turbiedad	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado.
Constituyentes químicos	
Arsénico	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
Aluminio, Bario, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo total y Plomo	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
Cloruros	Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación.
Dureza	Ablandamiento químico o intercambio iónico.
Fenoles o compuestos fenólicos	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.
Fierro y/o Manganeseo	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.
Fluoruros	Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa.
Hidrocarburos aromáticos	Oxidación-filtración; o adsorción en carbón activado.
Mercurio	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.
Nitratos y Nitritos	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.
Nitrógeno amoniacal	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.
pH	Neutralización
Plaguicidas	Adsorción en carbón activado granular.
Sodio	Intercambio iónico

Sólidos Disueltos Totales	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.
Sulfatos	Intercambio iónico u ósmosis inversa.
Sustancias activas al azul de metileno	Adsorción en carbón activado.
Trihalometanos	Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado.
Zinc	Evaporación o intercambio iónico.

Nota: Elaborada con información de (DOF, 2000).

IV.2 CONDICIÓN ACTUAL DEL SERVICIO

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su artículo 115 se establece que los municipios tienen a su cargo diversas funciones y servicios públicos, entre ellos se encuentran el agua potable, el drenaje, el alcantarillado, el tratamiento y la disposición de sus aguas residuales ([Const.], 2021).

La condición demográfica de la Ciudad de México tuvo como consecuencia que en 2003 entrara en funcionamiento el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), que tiene por objetivo “suministrar y distribuir los servicios de agua potable y drenaje a los habitantes del Ciudad de México con la cantidad, calidad y eficiencia necesaria, a través de acciones que contribuyan a la adecuada utilización de la infraestructura existente [...]” (Gobierno de la Ciudad de México, 2022).

Algunos de los objetivos y estrategias que el SACMEX publicó en 2020 en el *Programa Estratégico para Garantizar el Derecho al Agua 2020-2024* se enlistan a continuación:

- Objetivos centrales:
 - o Que toda la población cuente con agua suficiente todos los días, aunque no sea con suministro continuo.
 - o Reducir el abastecimiento a la CDMX en 2 m³/s con la finalidad de suspender la operación de 50 pozos, en las zonas con mayor afectación por hundimientos y mala calidad del agua.
- Macromedición y telemetría en tiempo real del sistema de abastecimiento en una sola plataforma.
- Sectorización con entradas y salidas medibles para localizar las fugas u otras pérdidas en el sistema y solucionarlas eficientemente.

- Recuperación y mejora de fuentes de abastecimiento mediante la rehabilitación y reposición de pozos en la CDMX.
- Identificación de la calidad del agua para mejorar la operación y eficiencia de las plantas potabilizadoras optimizando los procesos.
- Mejoramiento de la calidad del agua haciendo trabajos de rehabilitación y/o adecuación tecnológica en, se estima, 74 plantas potabilizadoras de la Ciudad.

La Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) diseñó la *Campaña cuidar el agua es cosa de todos* en 2016 y publicó la información respecto a la población, dotación y gasto total (cantidad de agua suministrada por SACMEX) que recibía cada Alcaldía. Esta información se resume en la Tabla IV-2, donde se puede observar que Iztapalapa tiene la mayor concentración de la población al interior de la Ciudad de México y es la cuarta demarcación en la que menos dotación se tiene por habitante con solo 235 litros al día.

Tabla IV-2. Población, gasto total y dotación por Alcaldía.

ALCALDÍA	POBLACIÓN [hab]	GASTO TOTAL [l/s]	DOTACIÓN [l/hab/día]
Iztapalapa	1,783,535	4,746	235
Gustavo a Madero	1,242,676	3,340	237
Álvaro Obregón	690,568	2,515	321
Coyoacán	643,838	2,589	355
Tlalpan	584,992	3,712	560
Cuauhtémoc	519,224	1,956	332
Venustiano Carranza	465,571	1,071	203
Azcapotzalco	443,071	2,030	404
Iztacalco	413,649	1,028	219
Xochimilco	372,111	1,579	374
Benito Juárez	362,591	1,670	406
Miguel Hidalgo	354,803	2,020	502
Tláhuac	304,611	725	210
Magdalena Contreras	223,266	1,402	554
Cuajimalpa	152,306	505	293
Milpa Alta	96,922	451	410

Notas: El Gasto se refiere a la cantidad de agua suministrada por unidad de tiempo. El gasto total y la dotación incluyen las pérdidas del suministro por fugas y los usos directos (en los domicilios) e indirectos (servicios públicos y comercios) de los habitantes.

Elaborada con información de (SEDEMA, 2016).

V. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Alcaldía Iztapalapa es una de las 16 que conforman a la Ciudad de México (CDMX), según el INEGI⁵, en 2020 era la más poblada con 1,835,486 habitantes (19.93% de toda la CDMX); su superficie es de aproximadamente 117 km² y solo es superada por Milpa Alta, Xochimilco y Tlalpan. Por ende, la densidad poblacional en Iztapalapa es de 15,688 habitantes/km².

Algunos de los datos demográficos más relevantes de Iztapalapa han sido publicados por el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) en la Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México (2010) y se resumen en la Tabla V-1.

Tabla V-1. Demografía de la Alcaldía Iztapalapa.

Localización	Al Oriente de la Ciudad de México. Colinda al Norte con Iztacalco, al Sur con Xochimilco y Tláhuac, al Oriente con el Edo. Mex., al Poniente con Coyoacán y al Norponiente con Benito Juárez.
Elevación	Según la PAOT ⁶ : Se encuentra a 2,240 msnm.
Relieve	Es una planicie en su mayoría. Sus principales elevaciones son los cerros de la Estrella, Peñón Viejo y la Sierra de Catarina, donde se encuentran los volcanes de San Nicolás Xiltepetl, Xoltepetl y el Cerro de la Caldera.
Orografía	En la zona urbana destacan el Peñón de los Baños, el Peñón del Marqués y el Cerro de la Estrella también llamado Huixachtitlán.
Hidrografía	Iztapalapa fue región con grandes extensiones de agua por la antigua colindancia con el Vaso de Texcoco, pues existieron canales para transportarse a Santa Anita, Jamaica y Tlatelolco. Actualmente no existen depósitos naturales de agua superficiales por el efecto combinado de la desecación lacustre y la pavimentación urbana. Por la Alcaldía atraviesa el Río Churubusco que al unirse con el Río de la Piedad (ambos actualmente entubados), forman el Río Unido. También la cruza el Canal Nacional, actualmente una parte descubierta y otra convertida en Calzada La Viga, donde recogían las aguas de los canales de Chalco, de Tezontle, Del Moral y el de Garay; que finalmente desembocaban sobre los terrenos que antiguamente formaban parte del lago de Texcoco.

⁵ INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Organismo autónomo de México.

⁶ PAOT: Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial, de la CDMX.

Clima	Según la clasificación climática de Köppen, y de acuerdo con el mapa de climas de la Ciudad de México, Iztapalapa se localiza en un clima templado moderado lluvioso; la temperatura del mes más frío es entre 3 y 18° C, siendo la temperatura del mes más cálido inferior a 22° C y la máxima de 31° C.
Recursos Naturales	No hay
Características y uso de suelo	Para el 2010, según el INAFED: 46% Habitacional, 13% Usos mixtos, 3% Industrial, 19% Equipamiento urbano y 14% Áreas verdes y espacios abiertos. En 2017, según la PAOT: 61% Habitacional, 15% habitacional mixto, 9% Equipamiento, 6% Espacios abiertos y deportivos, 2% Centros de barrio y subcentros urbanos y 7% restante en área de conservación.

Nota: Elaborada con información de INAFED (2010) y (PAOT, 2017).

Con la información de la Tabla V-2, se puede apreciar que de 1960 a 1995 Iztapalapa fue por excelencia un lugar para el asentamiento de numerosas familias que pudieron emigrar de otras Alcaldías o incluso Estados. Después de 1995 se puede notar que las tasas de crecimiento en Iztapalapa han sido semejantes a las de la CDMX, esto porque posiblemente se agotó la reserva de suelo urbanizable en la Alcaldía (PAOT, 2017).

Tabla V-2. Comportamiento poblacional en Iztapalapa y la CDMX.

Período	Crecimiento porcentual anual de la población en la CDMX	Crecimiento porcentual anual de la población en Iztapalapa	Porcentaje de la población de Iztapalapa con respecto a la CDMX
1960 – 1970	3.57	7.46	7.60
1970 – 1980	1.50	8.21	14.31
1980 – 1990	0.26	2.63	18.10
1990 – 1995	0.59	2.62	20.00
1995 – 2000	0.20	0.23	20.06
2000 – 2010	0.22	0.23	20.08
2010 – 2020	0.25	0.26	20.10

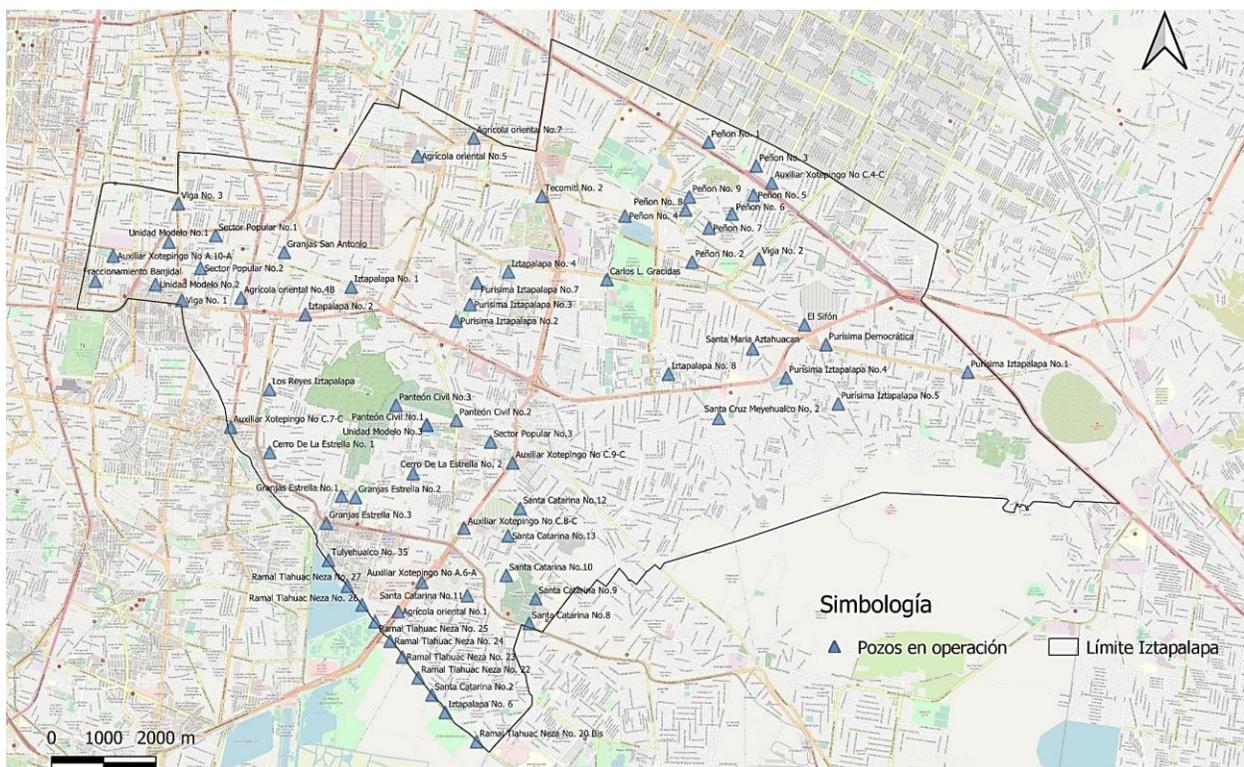
Nota: Elaborada con información de (PAOT, 2017).

En la Alcaldía se tienen 503,620 viviendas, de las cuales 1,278 no disponen de agua entubada, 82,407 no disponen de tinaco y 179,108 no disponen de cisterna (INEGI, 2020). Esta información indica que la necesidad de los habitantes es alta por disponer de agua potabilizada hasta sus domicilios con calidad y continuidad.

V.1 ACUÍFERO QUE SUBYACE

Iztapalapa es una de las Alcaldías más al Oriente de la Ciudad, por lo que la dotación de agua potable traída en bloque del sistema Lerma-Cutzamala es más complicada, pero no imposible. Al interior de la Alcaldía existen casi 70 pozos que extraen agua de los mantos acuíferos (Figura V-1); sin embargo, la cantidad de agua de la que se dispone sigue siendo insuficiente para dar abasto a la demanda de la población, en gran parte por las pérdidas del sistema. Aunado a lo anterior, en la temporada de estiaje la escasez de agua se acentúa, principalmente en las zonas más elevadas, que coinciden con las zonas más marginadas de la Alcaldía (Sandoval Romero, y otros, 2016).

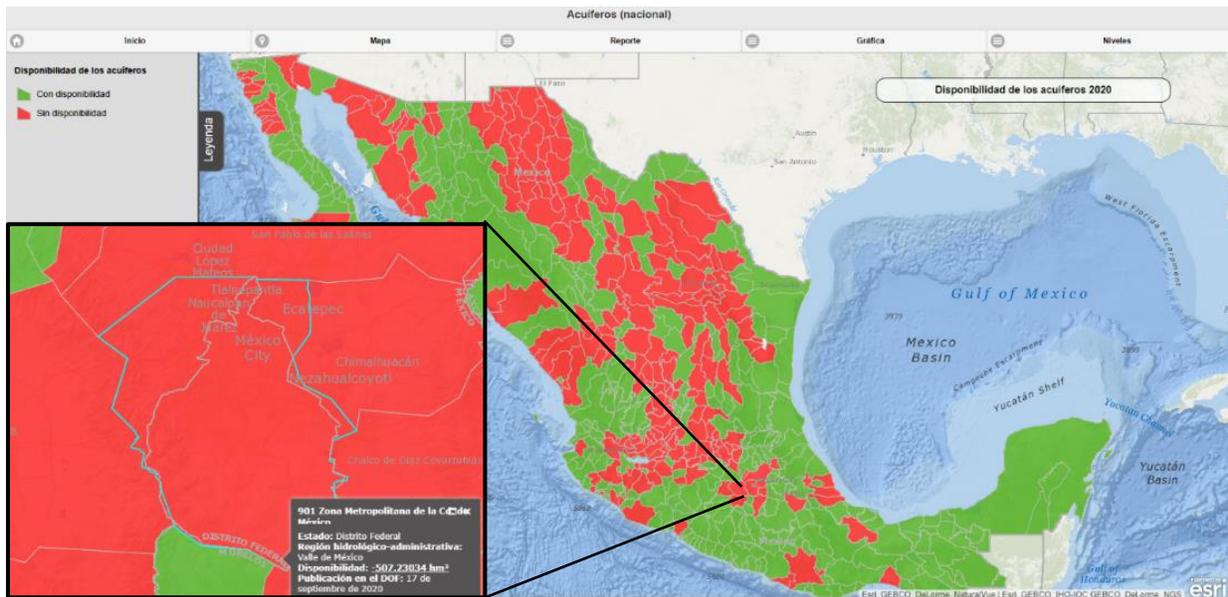
Figura V-1. Localización de pozos en Iztapalapa.



Nota Fuente: Tomado de (Moreno Rivera, 2021).

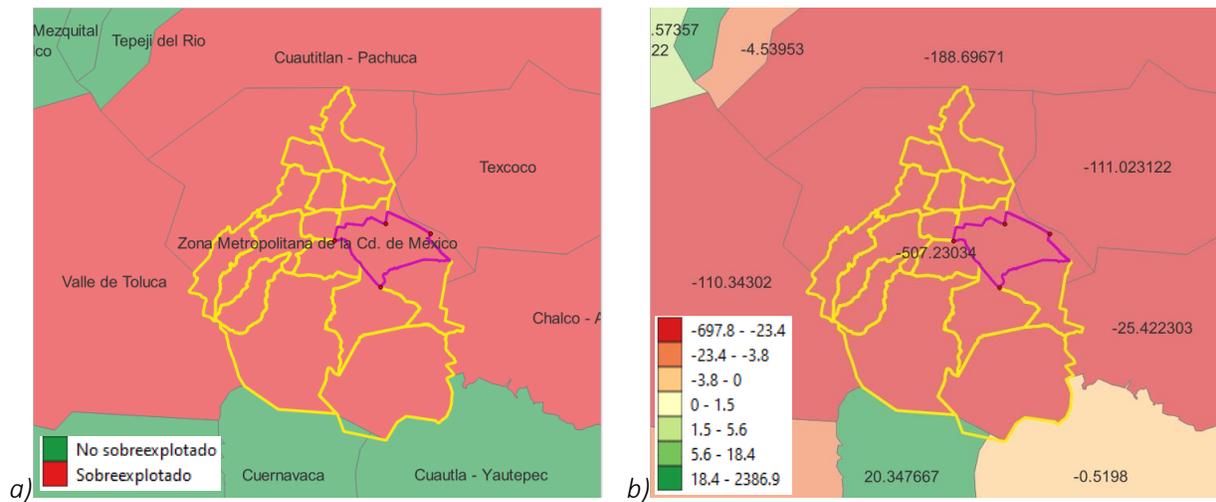
El territorio nacional se encuentra dividido en 653 acuíferos, nombrados y publicados oficialmente por el Diario Oficial de la Federación (DOF) en 2001, desde entonces el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) ha procesado y publicado la información con respecto a la disponibilidad media anual de agua subterránea (CONAGUA, 2021). Breve información y visualización relevante se puede revisar en la Figura V-2 y la Figura V-3.

Figura V-2. Mapa de la Disponibilidad de los Acuíferos en México, 2020.



Notas: Solo se presenta una vista general de los acuíferos del país y se hace un acercamiento a la CDMX. Elaborado con información del Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA, 2021).

Figura V-3. Información básica del Acuífero “Zona Metropolitana de la Cd. De México”, subyacente a Iztapalapa y la CDMX.



Notas: Las Alcaldías de la CDMX se resaltan con color amarillo, destacando Iztapalapa de color morado. a) Condición de los acuíferos, 2020: La alcaldía Iztapalapa, al igual que el resto de la CDMX, se encuentra sobre el acuífero “Zona Metropolitana de la Cd. De México”, el cual se encuentra sobreexplotado. b) Disponibilidad de los acuíferos, 2020 [hm³]: En el acuífero ya mencionado se tiene una disponibilidad negativa ya que se extraen 1,020 hm³/año y solo se recargan 512 hm³/año.

Elaborado en QGIS con información del Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA, 2021).

En 2018, el Instituto de Ecología de la UNAM⁷, junto con el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad⁸ y el Consejo Económico y social de la Ciudad de México, publicaron el *Estudio sobre el estado actual de mantos acuíferos, la explotación de pozos, el abasto real y la demanda actual y potencial del líquido en la Ciudad de México* y obtuvieron muestras de agua en 41 pozos de 11 Alcaldías, 9 están en Iztapalapa (Granjas Estrella 1, Panteón Civil 3, Santa Catarina 9, Santa Cruz Meyehualco, Iztapalapa 1 Influyente, Peñón 2 Nuevo, Peñón 6, Ramal Tláhuac Neza 21 y Ramal Tláhuac Neza).

Los pozos seleccionados en el mencionado estudio debían tener una secuencia de datos lo más completa posible en el periodo 2002 – 2017. Analizando las mediciones de los 9 pozos estudiados en Iztapalapa se puede resumir lo siguiente:

- Con respecto a los parámetros fisicoquímicos y de compuestos inorgánicos, dadas las concentraciones promedio de junio – agosto de 2018 y comparándolas con los límites máximos permisibles de la NOM-127:
 - 4 pozos exceden los 1000 mg/l de Sólidos Disueltos Totales (SDT),
 - 1 pozo excede las 10 Unidades de Turbiedad Nefelométricas (UTN),
 - 6 pozos exceden los 0.5 mg/l de Nitrógeno Amoniacal (NH₃-N) y
 - 1 pozo excede los 400 mg/l de Sulfatos (SO₄²⁻).Estos excedentes representan el 52% de todos los obtenidos en los 41 pozos.
- Con respecto a la detección de bacterias indicadoras en el mismo periodo:
 - 3 pozos tuvieron presencia de Coliformes Fecales (CF),
 - 2 pozos tuvieron presencia de Escherichia Coli (EC),
 - 2 pozos tuvieron presencia de Enterococos Fecales (EF),Solo en otros 2 pozos fuera de la Alcaldía hubo presencia de CF, EC o EF.
- Estos resultados completos se pueden ver con detalle en el ANEXO XII.2.

Además de los muestreos, para el Estudio previamente mencionado, se consiguió información del SACMEX para diversos pozos de los años 2002 a 2017. Analizando los parámetros de esa información (ver detalle en el ANEXO XII.2) se puede establecer la cantidad de años en que algún parámetro superó los límites marcados por la NOM-127 y se resumen en la Tabla V-3.

⁷ Representado por el Dr. Constantino Macías García

⁸ Representado por la Dra. Marisa Mazari Hiriart

Tabla V-3. Cantidad de años en los que parámetros de calidad del agua han superado los límites de la NOM-127 en pozos de Iztapalapa durante el periodo 2002 – 2017.

Nombre del pozo SACMEX	pH [U pH]	Turbidez [UTN]	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ - [mg/l]	NH ₃ -N [mg/l]	As [mg/l]	B [mg/l]	Cr [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	Pb [mg/l]	CF [col/100ml]	CRL [mg/l]
POZO GRANJAS ESTRELLA 1		1							1	1				1
POZO GRANJAS ESTRELLA 3									2				3	
P. P. IZTAPALAPA 1		8	4			5			1		9		1	1
POZO PANTEÓN CIVIL 3						13			3		5			
POZO PEÑÓN 2 NUEVO	1					9								1
POZO PEÑÓN 8	2	1				10			3					
PC RAMAL TLÁHUAC NEZA 5						2			1	1	10			
POZO SANTA CATARINA 9	2	7				8			1	4	2			
P. P. SANTA CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	1	4		11		12							1	
POZO UNIDAD MODELO 2	1								4	1	2			

Nota: Elaborada con información de (Macías García & Mazari Hiriart, 2018).

Se podría resumir que, con base en los pozos muestreados para el Estudio del Instituto de Ecología, el acuífero del cual se extrae agua en Iztapalapa ha tenido persistencia temporal en constituyentes como el Nitrógeno amoniacal, los Sulfatos, el Manganeso, el pH y la Turbidez; y una constante espacial en parámetros excesivos como el Cromo, el Nitrógeno Amoniacal, el pH, la Turbidez y el Manganeso. La remoción eficiente de estos contaminantes es de vital importancia para garantizar la salud de la población reduciendo las enfermedades de origen hídrico. Más detalles de esta información se revisan en el Capítulo VII.4.

VI. MARCO TEÓRICO

Se incluye en este capítulo una descripción a grandes rasgos de los procesos de ósmosis y ósmosis inversa y su aplicación en la potabilización del agua para consumo humano. Adicionalmente, hay un par de subcapítulos dedicados a la relación de la ósmosis inversa con otros procesos de membrana, cuáles son los objetivos de cada uno y las limitaciones según el tipo de material empleado o la configuración de las unidades de tratamiento.

Finalmente, se describen los problemas más comunes en los sistemas de ósmosis inversa según diversas fuentes de información, que son parte fundamental para la evaluación de la operación de las plantas que incluyen dicho sistema.

VI.1 ÓSMOSIS

Una concepción sencilla de la ósmosis es que “está representada por la posibilidad de hacer pasar "algo" a través de una barrera sin consumo de energía” (Del Castillo, 1997). Mas detalladamente para el agua: se tiene una difusión⁹ pasiva a través de una membrana semipermeable¹⁰, la cual permite el libre tránsito del agua, pero impide la difusión de algún constituyente.

En la Figura VI-1 se representa cómo es que el fenómeno de la ósmosis provoca que las moléculas de agua atraviesen una membrana semipermeable desde la solución con menor concentración a la de mayor concentración, esto mientras la presión hidrostática se equilibre al llegar a la presión osmótica (Del Castillo, 1997).

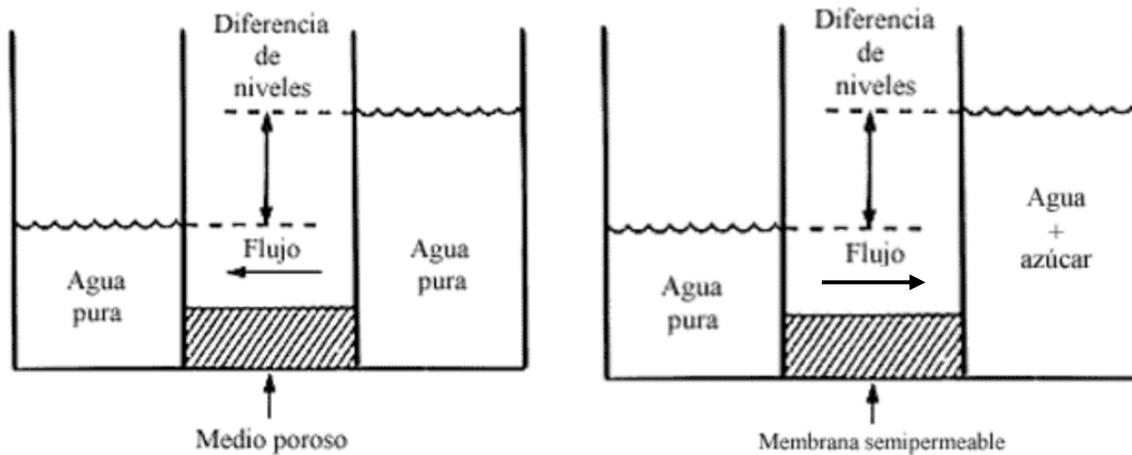
Si bien las membranas semipermeables impiden el paso de los solutos según la relación de tamaño que tengan con respecto a su permeabilidad, algunas características que también afectan el índice de paso son la presión osmótica¹¹, la concentración o la temperatura de las moléculas o de los solutos en cualquier lado (Wikipedia, 2021).

⁹ La difusión es un proceso físico molecular en el que un flujo de átomos, iones, u otra especie dentro de un material (partículas en general), se mueve de una región a otra comúnmente con menor concentración (Wikipedia, 2021).

¹⁰ Las membranas semipermeables permiten el paso de ciertas moléculas o iones, las cuales precisamente son de tamaño molecular.

¹¹ “La presión osmótica puede definirse como la presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable”. Al suceder la ósmosis se crea una diferencia de presiones entre los dos lados de la membrana semipermeable, correspondiente a la presión osmótica. (Wikipedia, 2022)

Figura VI-1. Flujo hidrostático y flujo osmótico, experimento representativo de la ósmosis.



Nota fuente: Tomada y adaptada de (Del Castillo, 1997).

VI.2 ÓSMOSIS INVERSA

Como fue descrito anteriormente, en la ósmosis el flujo de -por ejemplo- agua, pasa a través de las membranas semipermeables desde la disolución con menor concentración a la de mayor concentración. En la ósmosis inversa el flujo del agua se invierte al aplicar altas presiones en la disolución con constituyentes, del otro lado de la membrana solo habrá moléculas de agua.

[La Ósmosis inversa es un] proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño. (DOF, 2000)

Entonces, se puede resumir que la ósmosis inversa es un proceso que actúa como un filtro molecular con la capacidad de remover diversos constituyentes en el agua con gran eficiencia, como pueden ser del: 90 – 95% de todos los minerales disueltos, 95 – 97% de casi todos los inorgánicos disueltos e incluso más del 98% de la materia orgánica y coloidal del agua (García Cano, 1974). Esta capacidad de filtración toma más importancia con la creciente demanda de constituyentes disueltos de origen fármaco o ganadero, por ejemplo; si bien estos contaminantes afectan más al agua residual, incluso en el tratamiento de esta es recientemente usada la ósmosis inversa.

VI.2.1 Ósmosis inversa como proceso de membrana

Existen cinco procesos de membrana que se utilizan comúnmente y son recomendados por la CONAGUA en el libro 24 del MAPAS “Diseño de plantas potabilizadoras de Tecnología Simplificada”: Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF), Nanofiltración (NF), Ósmosis Inversa (OI) y Electrodiálisis (ED) (y Electrodiálisis Inversa (EDI)). Comúnmente, por la similitud en sus procesos, se pueden agrupar en MF-UF, NF-OI y ED-EDI, y factores que los distinguen son; tipo de membrana, mecanismo de remoción de contaminantes, fuerza requerida en el proceso y aplicación primaria (2019).

El potencial que tiene cada tipo de membranas es distinto. Conforme el tamaño de los poros disminuye, se tiene la posibilidad de separar constituyentes más pequeños en el agua, como se puede revisar en la Tabla VI-1 y la Tabla VI-2.

Tabla VI-1. Procesos de membrana y contaminantes objetivo.

Tecnología de membrana	Contaminantes que remueve
MF	Giardia Cryptosporidium Bacterias Turbiedad/materia particulada Materia orgánica coagulada Precipitados inorgánicos
UF	Todos los contaminantes que remueve MF Virus Macromoléculas orgánicas
NF	Todos los contaminantes que remueve UF Iones divalentes/dureza Iones monovalentes limitados Carbono orgánico disuelto Color
OI	Todos los contaminantes que remueve NF Iones monovalentes
ED/EDI	Iones disueltos

Nota fuente: Traducida y elaborada de (American Water Works Association [AWWA], 2007).

Tabla VI-2. Potencial de remoción de tecnologías de membrana.

Tamaño [µm]	Iónico	Molecular	Macromolecular	Micropartícula	Macropartícula			
	0.001	0.01	0.1	1	100	1,000		
Peso molecular aproximado	100 200	1,000 10,000	20,000 100,000	500,000				
Tamaño relativo de varios materiales en el agua	Sólidos Disueltos	Ácidos húmicos	Virus	Arcillas	Bacterias	Algas	Quistes	Arena
Proceso de separación	ED/EDI	OI	NF	UF	MF			

Nota fuente: Traducida y elaborada de (American Water Works Association [AWWA], 2007).

VI.2.2 Ósmosis Inversa en la potabilización de agua para consumo humano

Como fue mostrado en la Tabla IV-1, la NOM-127 recomienda la Ósmosis Inversa como tratamiento para la potabilización de agua con diversos constituyentes químicos, como:

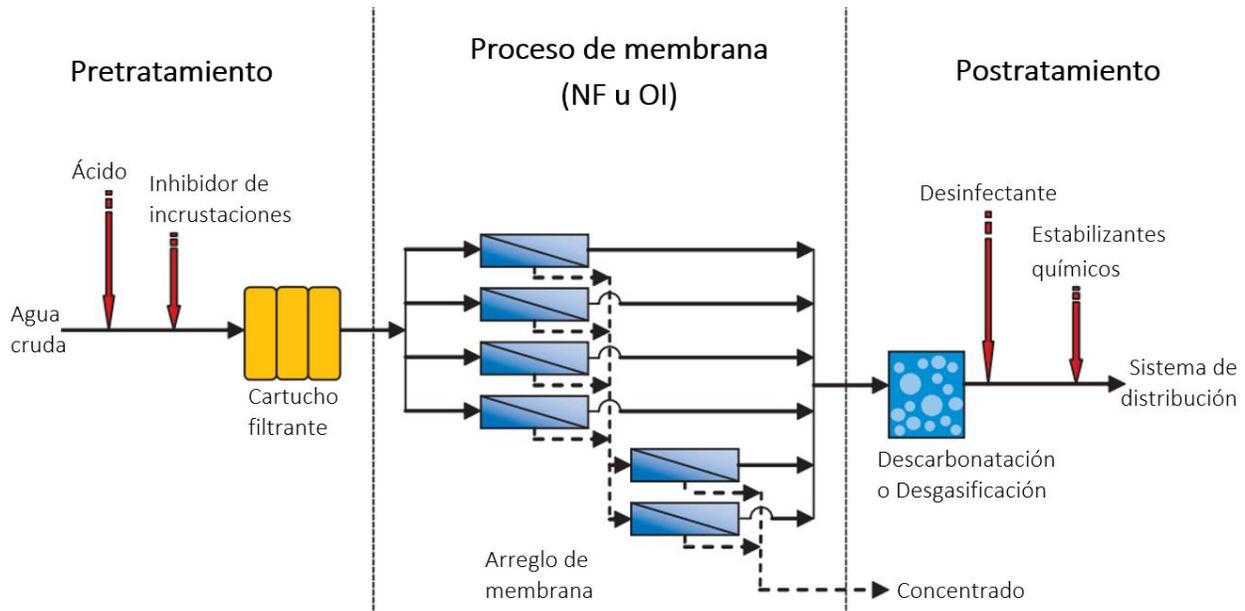
- Arsénico
- Aluminio, Bario, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo total y Plomo
- Cloruros
- Sulfatos
- Hierro y/o Manganeseo
- Fluoruros
- Mercurio, cuando la fuente tenga hasta 10 mg/l

La CONAGUA en el Libro 24 del MAPAS establece que “un sistema típico de membranas de OI o NF consiste en tres subsistemas separados: pretratamiento, el proceso de membrana y el postratamiento”, y que “la principal aplicación de los sistemas OI y NF es la desalación de agua superficial, subterránea, de mar, residual o industrial” (2019). Las aplicaciones comunes de los sistemas de OI y NF, según la CONAGUA, son:

- Remoción de sólidos disueltos.
 - o Comúnmente el permeado es muy corrosivo y con baja alcalinidad, e incluso con bajo pH, por lo que se requiere diseñar un postratamiento
- Remoción de precursores DBP (subproductos de la desinfección)
 - o Los DBP pueden formar agentes potencialmente cancerígenos como los trihalometanos y ácidos haloacéticos
- Remoción de dureza
 - o Es más adecuada la NF si el objetivo es un ablandamiento sin reducción de sólidos disueltos, pero la OI es igual de eficiente.
- Remoción de color
 - o Incluso la NF remueve hasta el 95% de color, igual que la OI
- Remoción de contaminantes inorgánicos
 - o Arsénico, nitratos, fluoruros, cadmio, mercurio, entre otros
- Remoción de patógenos
 - o Se ha demostrado que con OI se pueden remover entre 4 y 5 unidades logarítmicas de virus asociados a enfermedades transmitidas en el agua
- Remoción de contaminantes emergentes
 - o Solo la OI y el intercambio iónico pueden remover el perclorato
 - o Disruptores endócrinos y compuestos activos farmacéuticos

El tratamiento o potabilización del agua mediante sistemas de membrana, como la Ósmosis Inversa o Nanofiltración, consiste en tres subsistemas: el pretratamiento (al cuál deben someterse prácticamente todas las fuentes de agua hasta filtrar partículas de 5 a 20 μm), los procesos de membrana y el postratamiento (AWWA, 2007).

Figura VI-2. Configuración típica de los sistemas de potabilización mediante Nanofiltración u Ósmosis Inversa.



Nota fuente: Traducida de (American Water Works Association [AWWA], 2007).

VI.2.3 Materiales de membrana y configuraciones

La Ósmosis Inversa emplea para su proceso membranas asimétricas¹² homogéneas y compuestas, los materiales predominantes son el acetato de celulosa y algunos polímeros como son las poliamidas aromáticas (AWWA, 2017). A continuación, se enlistan algunas características de los materiales de membrana que detalla la American Water Works Association:

- Primeras membranas de acetato de celulosa
 - o Eran asimétricas, compuestas por: una superficie delgada (0.1 – 1.0 mm) y densa que proporciona las características de rechazo y un sustrato esponjoso (espesor de 80 a 100 mm) que es el soporte para diferenciales de presión de hasta 1,000 psi (como en condiciones salinas).
- Membranas celulósicas modificadas
 - o Incluyen el diacetato y el triacetato de celulosa. Son más económicas que las no celulósicas y por ello aún tienen algunas aplicaciones.

¹² Asimétricas porque la densidad de los “poros” no es uniforme

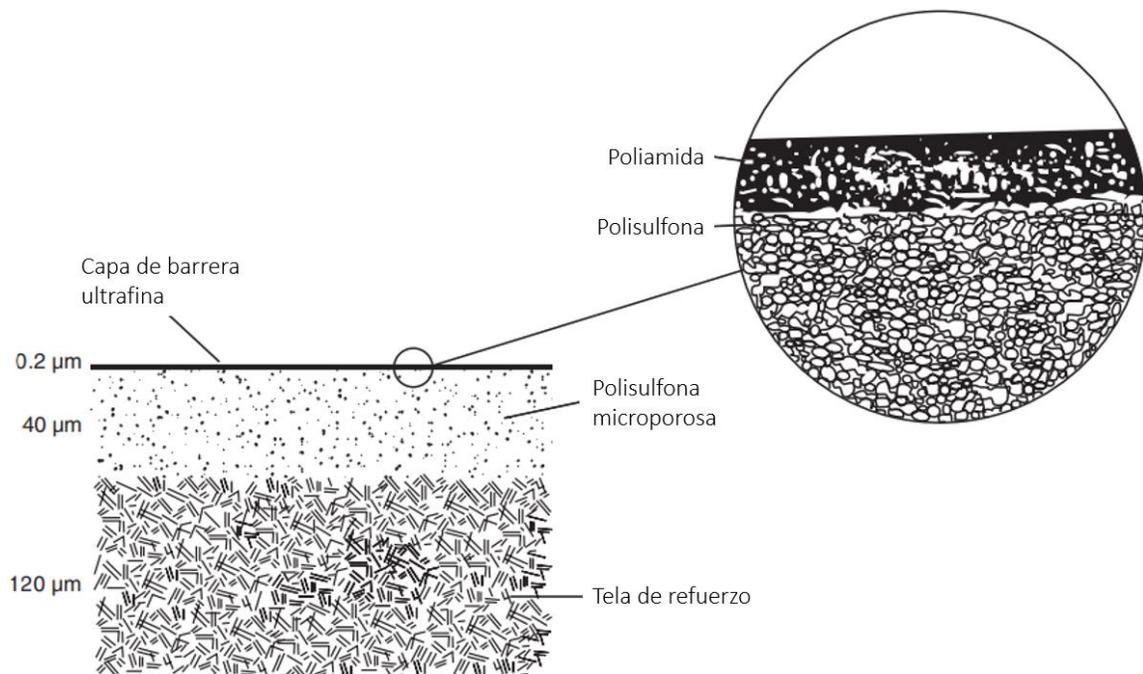
- Membranas recientes: compuestos de polímeros
 - o La capa de soporte comúnmente es polisulfona y detiene incluso sal ultrafina (0.025 – 0.2 mm). La capa de barrera se compone de poliamidas completamente aromáticas (comúnmente aril-alquil poliamidas y poliurea, y anteriormente poliamidas de aril-alquilo)

Figura VI-3. Membranas celulósicas.



Nota fuente: Traducida de (American Water Works Association [AWWA], 2007).

Figura VI-4. Membranas compuestas por polímeros.



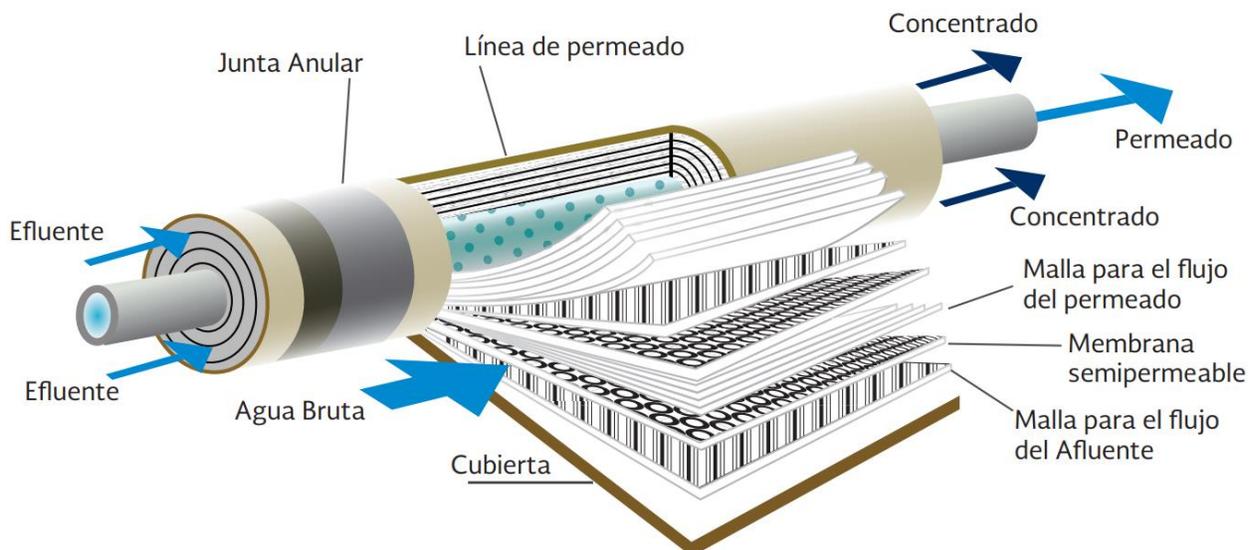
Nota fuente: Traducida de (American Water Works Association [AWWA], 2007).

La configuración de las membranas debe estar integrada en unidades que brinden soporte y un empaquetamiento adecuado, además se incorporan características que mejoran la funcionalidad de la penetración del agua en la membrana, aumentar el rechazo de los constituyentes, minimizar las pérdidas de presión hidráulica y permitir velocidades suficientes para mantener las superficies limpias (AWWA, 2007).

Existen cuatro configuraciones básicas de membranas: tubular, de placa y marco, de fibra fina hueca y espiral enrollable; sin embargo, actualmente la configuración de espiral es la que más se emplea para dar potabilización al agua a nivel municipal (AWWA, 2007).

[La membrana enrollada en espiral] consiste en dos hojas de membranas separadas por un polímero textil de refuerzo; esta tela soporta a la membrana para las altas presiones de operación y provee un canal de flujo por donde el agua filtrada sale [Figura VI-5]. El material de la membrana está pegado en espiral en un cartucho cilíndrico. La envoltura de la membrana se sella con adhesivo para prevenir la contaminación del agua limpia. El cuarto lado está pegado a un tubo de permeado que tiene perforaciones en cada extremo para que el agua producida pueda salir por un tubo central. (CONAGUA, 2019)

Figura VI-5. Membrana de OI de espiral enrollable.



Nota fuente: Tomada de (CONAGUA, 2019).

VI.2.4 Problemas de la operación unitaria Ósmosis Inversa

Inicialmente, la presión hidráulica (traducida como energía) requerida por el proceso de Ósmosis Inversa depende del material y grosor de la membrana semipermeable, pues inicialmente hay que vencer la presión osmótica natural del proceso y también vencer la resistencia física de la membrana. El origen de la OI fue para dar tratamiento al agua de mar, con membranas celulósicas que necesitaban una presión mayor a 1000 psi¹³; actualmente las membranas de OI para desalinizar requieren desde 800 y hasta 1200 psi, pero para dar tratamiento a agua salobre se pueden emplear entre 100 y 600 psi. Entonces, la errónea selección de la OI con base en las características del agua podría volver incosteable el proceso (AWWA, 2007).

Ahora bien, como se vio en la Tabla VI-1 y la Tabla VI-2, la OI tendría la capacidad de eliminar desde sólidos disueltos y virus, hasta bacterias, barro y algas que son mucho más grandes, pero diseñarlo de esta manera provocaría que se acumule suciedad en las membranas, la cual debe removerse a través de lavados constantes y además de generar costos más elevados. El ensuciamiento de las membranas podría ser irreversible, haciendo que la inversión sea un desperdicio al reducir su vida útil.

Las membranas de NF, variantes de la OI, tienen características de rechazo reducidas, es decir que dejan pasar más contaminantes como pueden ser iones más pequeños y menos cargados (p. ej. sodio y cloruro). La NF es eficiente para ablandar¹⁴ el agua y la eliminación de precursores de carbón orgánico disuelto, con presiones entre 70 y 120 psi. Por lo que, dependiendo de la finalidad que se busque al utilizar las membranas semipermeables, podría no ser requerida estrictamente la OI (AWWA, 2007).

Hay ocasiones en que se habla de la OI como un proceso de desinfección y se clasifica como un método físico, cuya característica principal sería que pueden reducir la concentración de organismos en un afluente, tal vez sin inactivar, matar o eliminarlos. Estrictamente su capacidad de desinfección radica en la posibilidad de filtrar virus, bacterias e incluso protozoos (CONAGUA, 2019); sin embargo, las membranas semipermeables no porosas se llegan a ensuciar rápidamente cuando son sometidas a una alta carga de partículas, como pueden ser sólidos en suspensión (AWWA (2007)).

¹³ 1000 psi equivalen a 68 atmósferas de presión, es decir una columna de agua mayor a 700 metros.

¹⁴ Ablandar: Remover compuestos minerales que le dan dureza al agua, principalmente sales de magnesio y calcio.

Una de las grandes particularidades de las membranas semipermeables que se ha mencionado repetidamente es que no son porosas, lo cual implica que no se pueden lavar a contracorriente como se hace con otros métodos de filtración. Los lavados requeridos son mediante la adición de químicos que remuevan minerales, biopelículas (algas, moho, etc.), sílices o cualquier otro constituyente adherido a las capas y que se pueda desprender circulando en el mismo sentido de flujo del sistema (Oasis Expres, 2020). No conocer los posibles contaminantes que se van a almacenar entre las capas de membrana implicaría que sean requeridos más costosos lavados, además es necesario conocer los parámetros del fabricante y sus recomendaciones de uso.

En la Figura VI-2 se puede observar que en la operación unitaria de OI comúnmente se tienen varios bloques de filtración, en los cuales se tiene un solo afluente (agua contaminada) y dos efluentes (agua permeada y el concentrado). Comúnmente no se tiene una recirculación del concentrado, pues eso provocaría una pérdida en la capacidad de filtración por colmatación al aumentar constantemente la concentración de los contaminantes; en vez de eso se diseñan los bloques subsecuentes para que el volumen de agua concentrado pase por otro filtro de membranas semipermeables y las salidas de permeado tengan el mismo efluente. Entonces, el proceso de OI implica que hay un volumen de desecho en el que se aumenta más y más la concentración de constituyentes, lo cual genera un problema para la gestión de residuos líquidos.

La decisión del material de membrana puede estar en función de lo resumido en la Tabla VI-3, tomando en cuenta la caracterización del agua hasta antes de la OI.

Tabla VI-3. Comparación entre los principales materiales de membrana.

Parámetro	Membrana compuesta de polímeros	Membrana de acetato de celulosa
Rechazo de sales	Alta (> 99.5 %)	Baja (arriba de 95%)
Presión de conducción neta	Baja	Alta
Carga superficial	Más negativa	Menos negativa
Tolerancia al cloro	Baja	Regular
Frecuencia de limpieza	Alta	Baja
Remoción de orgánicos	Alta	Baja
Biodeposición	Más susceptible	Menos susceptible
Biodegradación	Ninguna	Alta
Tolerancia de pH	Alta (2 – 13)	Limitada (4 – 8)

Nota fuente: Traducida y elaborada de (American Water Works Association [AWWA], 2007).

VII. RECOPIACIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN

Inicialmente es necesario agrupar los datos e información de la cual se dispone para el análisis y caracterización del agua en Iztapalapa y para determinar cuáles plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano podrían someterse a una evaluación en este trabajo. En la Tabla VII-1 se resumen los planteamientos y consideraciones que a continuación se describen:

- En el *Inventario Nacional de plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación - diciembre 2019* (de aquí en adelante referido como Inventario Nacional) se establece que en la CDMX existen 48 PTACH, de las cuales 25 (52%) están en Iztapalapa. De esas 25, 12 clasifican con el proceso de Ósmosis Inversa, 12 con el proceso Filtración Directa y 1 con Otro proceso.
- En 2015, la Ing. Alejandra Campos desarrolló la Tesina *Potabilización del agua para suministro en la Ciudad de México*, en el capítulo III de su trabajo se puede revisar un compendio de datos y características de las PTACH en la CDMX. Con respecto a Iztapalapa se tiene información de 20 PTACH de las 25 registradas en el Inventario Nacional y de otras 6 que actualmente no están en operación. Además, existe la información de 9 de las 12 PTACH que actualmente funcionan con OI.
- Más recientemente, en 2021, la Ing. Esp. Laura Elena Moreno concluyó la Tesis *Desarrollo de mapas de riesgo de calidad de agua en sistemas de abastecimiento*, y presenta información compartida por SACMEX respecto al afluente y efluente de PTACH en la CDMX. Para efectos de este trabajo, se cuenta con la tabulación de algunos parámetros relevantes para todas las PTACH con procesos de OI según el Inventario Nacional y de otras dos con la misma característica y que tenían funcionamiento en 2015.

Es por lo anterior que se ha planteado trabajar en este documento con las 14 PTACH que están sombreadas de color verde en la Tabla VII-1, las cuales tienen una mayor disponibilidad de información y son las que más recientemente se han considerado en operación y con procesos de OI como principal para la potabilización del agua. En la Figura VII-1 y la Figura VII-2 se puede visualizar la distribución espacial de las 31 PTACH en Iztapalapa y la ubicación de las 14 que se evaluarán.

Tabla VII-1. Características disponibles de las PTACH en Iztapalapa según diversas fuentes de información.

Inventario Nacional de plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Dic. 2019			Alejandra Campos López, 2015: Potabilización del Agua para Suministro en la Ciudad de México											Laura Elena Moreno Rivera, 2021: Desarrollo de mapas de riesgo de calidad del agua [...]		
PTACH municipales en operación en Iztapalapa, Ciudad de México. Dic-19	Proceso principal	Información de la planta	Procesos en el tren de tratamiento											Información influente	Información efluente	
			Origen de influente	Oxidación con hipoclorito	Desgasificación	Biofiltración	Oxidación con ozono	Floculación y/o clarific.	Filtración y/o Filtrac. a presión	Adsorción (carbón)	Aireac., MF, ED u otra	OI	Desinfección			
1	Xaltepec	FD	SÍ ¹	POZO	X		X					X		X	SÍ	SÍ
2	Acueducto Sierra Sta. Catarina	FD	SÍ	ACUEDUCTO		X	X	X			X			X	SÍ	SÍ
3	Agrícola Oriental	OI	SÍ	POZO		X		X			X	X	X	X	SÍ	SÍ
4	Auxiliar Xotepingo 4C	FD													SÍ	SÍ
5	Carlos L. Gracidas	FD	SÍ	POZO		X						X		X	SÍ	SÍ
6	Cerro de la Estrella 2	FD	SÍ	POZO	X				X		X			X	SÍ	SÍ
7			EL SIFÓN	POZO			X	X			X		X	X	NSC	NSC
8	Granjas de San Antonio	FD	SÍ	POZO				X	X		X			X	SÍ	SÍ
9	Iztapalapa 1	OI	SÍ	POZO		X		X			X	X	X	X	SÍ	SÍ
10	Iztapalapa 2	FD	SÍ	POZO	X				X		X			X	SÍ	SÍ
11			IZTAPALAPA 8	POZO		X					X	X	X	X	NO	NO
12	La Caldera	FD	SÍ	INFLUENTE			X	X			X			X	NO	NO
13	Panteón Civil	FD	SÍ	POZO	X						X	X		X	NO	NO
14	Peñón 2	OI													SÍ	SÍ
15	Purísima 2	FD	SÍ	POZO							X	X		X	SÍ	SÍ
16	Purísima 3 y 7	OI	SÍ	POZO	X							X		X	SÍ	SÍ
17			PURÍSIMA DEMOCRÁTICA	POZO			X		X		X	X	X	X	SÍ	SÍ
18			PURÍSIMA IZTAPALAPA 4	POZO	X	X		X	X		X	X	X	X	SÍ	SÍ
19	Purísima Iztapalapa 5	OI	SÍ	POZO				X				X	X	X	SÍ	SÍ
20	Purísima Iztapalapa I	OI	SÍ ³	POZO		X		X			X	X	X	X	SÍ	SÍ
21			SAN SEBASTIAN T. ³	POZO							X	X	X	X	NSC	NSC
22	San Lorenzo Tezonco	Otro	SÍ ²										X		NSC	NSC
23	San Lorenzo Tezonco Nuevo	OI	SÍ ²										X		SÍ	SÍ
24	Santa Catarina 10	OI	SÍ	POZO			X	X			X	X	X	X	SÍ	SÍ
25	Santa Catarina 11	FD	SÍ	POZO	X						X			X	SÍ	SÍ
26	Santa Catarina 13	OI	SÍ	POZO			X		X		X	X	X	X	SÍ	SÍ
27	Santa Catarina 8 y 9	OI	SÍ	POZO		X					X	X	X	X	SÍ	SÍ
28	Sta. Cruz Meyehualco	OI	SÍ	POZO		X		X			X	X	X	X	SÍ	SÍ
29			SANTA MARÍA AZTAH.	POZO		X					X	X	X	X	NSC	NSC
30	Tecomitl 2	OI													SÍ	SÍ
31	Viga 2	FD	SÍ	POZO	X				X		X			X	NO	SÍ

Notas: OI se refiere a Ósmosis Inversa; FD se refiere a Filtración Directa; NSC = No Se Contempla; MF = Microfiltración; ED = Electrodialisis

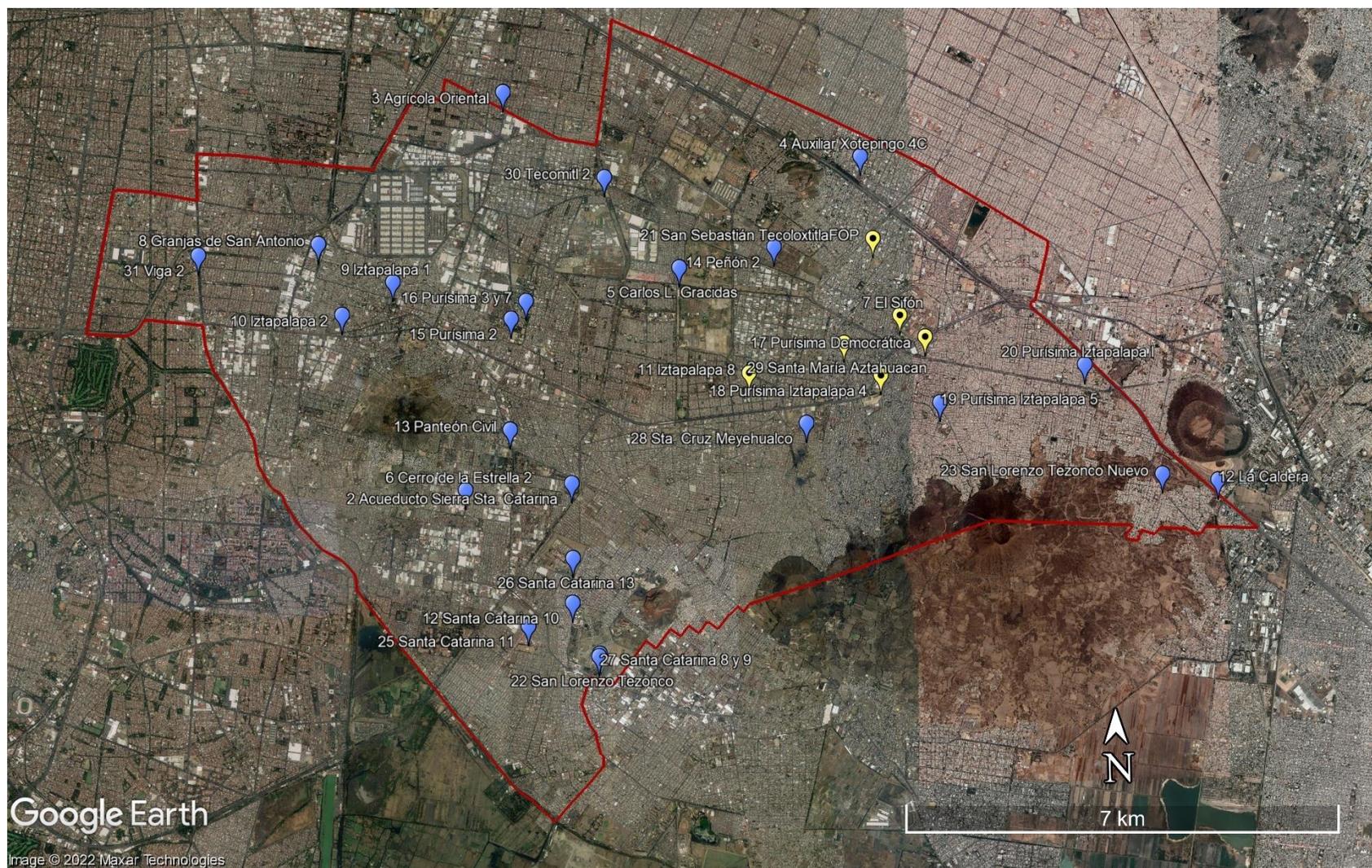
¹La fuente de información indica que la PTACH está fuera de Iztapalapa; ²La información respecto a esa planta es incompleta; ³Fuera de operación en el año de la publicación;

Las X indican los procesos del tren de tratamiento en cada planta, de color rojo y tachadas (X) se resaltan los procesos por los que pasa el agua justo antes de la desinfección (que comúnmente es el último proceso);

De color verde están sombreadas las PTACH que se usarán para la evaluación de los procesos de OI, señalados por alguna de las dos primeras fuentes y con información del 2021;

Elaborada con información de (CONAGUA, 2019), (Campos Lopez, 2015) y (Moreno Rivera, 2021)

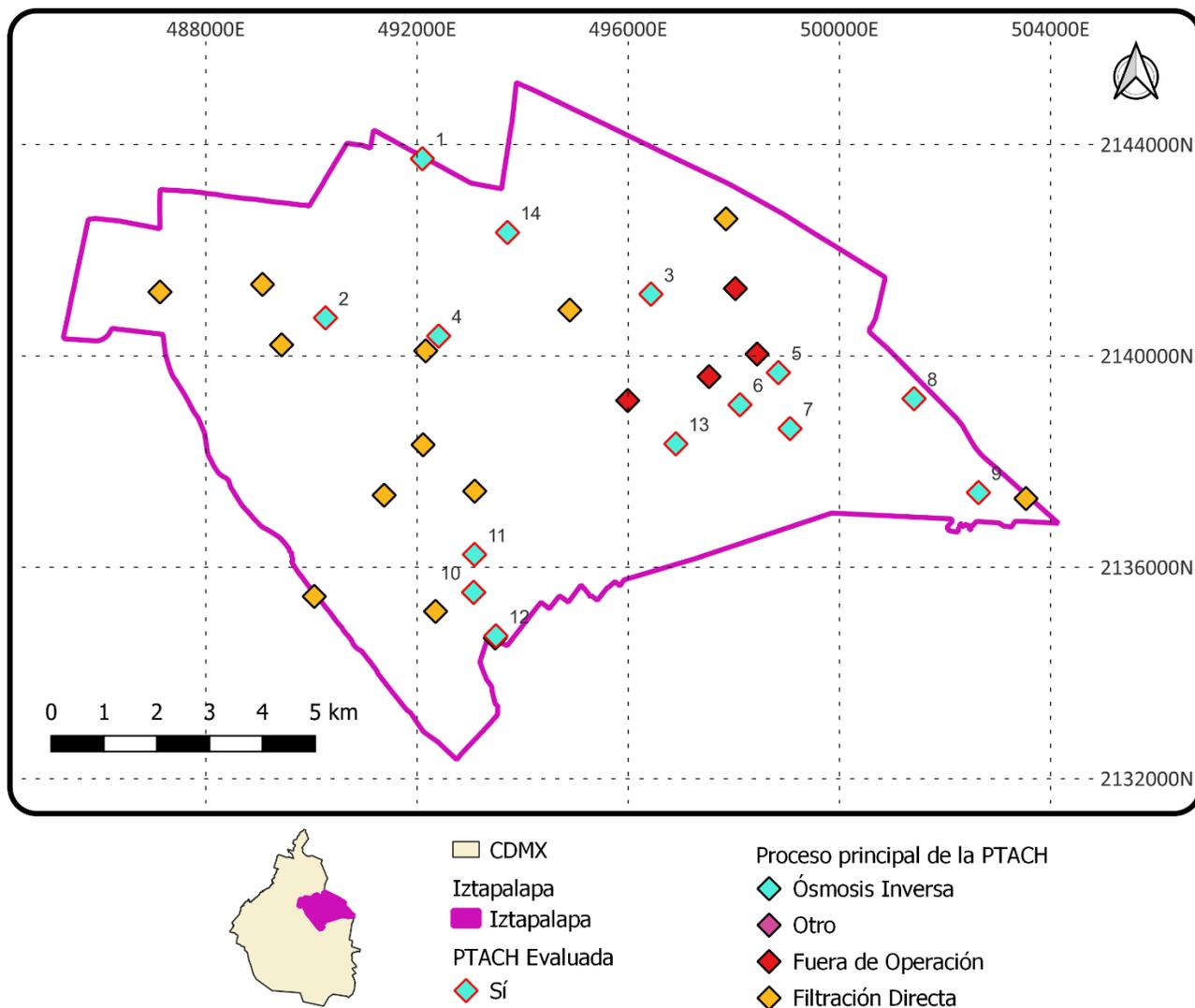
Figura VII-1. Plantas potabilizadoras en la Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México.



Notas: Se muestran las mismas 31 PTACH de la Tabla VII-1 dentro de un polígono rojo que es Iztapalapa. Las paletas azules indican aquellas plantas en operación durante el 2019 según el Inventario Nacional y las amarillas con un círculo en su centro estaban en operación en 2015.

Elaborada en Google Earth con información de (Moreno Rivera, 2021) y Google Maps.

Figura VII-2. Plantas potabilizadoras en Iztapalapa que se evaluarán.



Notas: La numeración señalada corresponde a la del capítulo VII.1; sistema geodésico de coordenadas empleado: WGS84; proyección UTM. Elaborada en QGIS con información de (Moreno Rivera, 2021) y Google Maps.

VII.1 PTACH A EVALUAR Y FUENTE DE ABASTECIMIENTO.

El listado de las PTACH que se evaluarán es el siguiente, se incluye también su fuente de abastecimiento que determinó la Ing. Alejandra para 11 de ellas, las cuales se abastecen mediante pozos.

1) Agrícola Oriental	Pozos No. 2, 5, 6, 9 y 10
2) Iztapalapa 1	Pozo No. 59 (Iztapalapa 1)
3) Peñón 2	Pozo Peñón 2 Nuevo
4) Purísima 3 y 7	Pozo Purísima 3 y Purísima 7
5) Purísima Democrática*	Pozo No. 243 (Purísima democrática)
6) Purísima Iztapalapa 4*	Pozo No. 126 (Purísima Iztapalapa 4)
7) Purísima Iztapalapa 5	Pozo No. 187 (Purísima Iztapalapa 5)
8) Purísima Iztapalapa I	Pozo No. 125 (Purísima Iztapalapa 1)
9) San Lorenzo Tezonco Nuevo	Sin información
10) Santa Catarina 10	Pozo Santa Catarina 10
11) Santa Catarina 13	Pozo Santa Catarina 13
12) Santa Catarina 8 y 9	Pozos Santa Catarina 8 y 9
13) Sta. Cruz Meyehualco	Pozos Santa Cruz Meyehualco 1 y 2
14) Tecomitl 2	Sin información

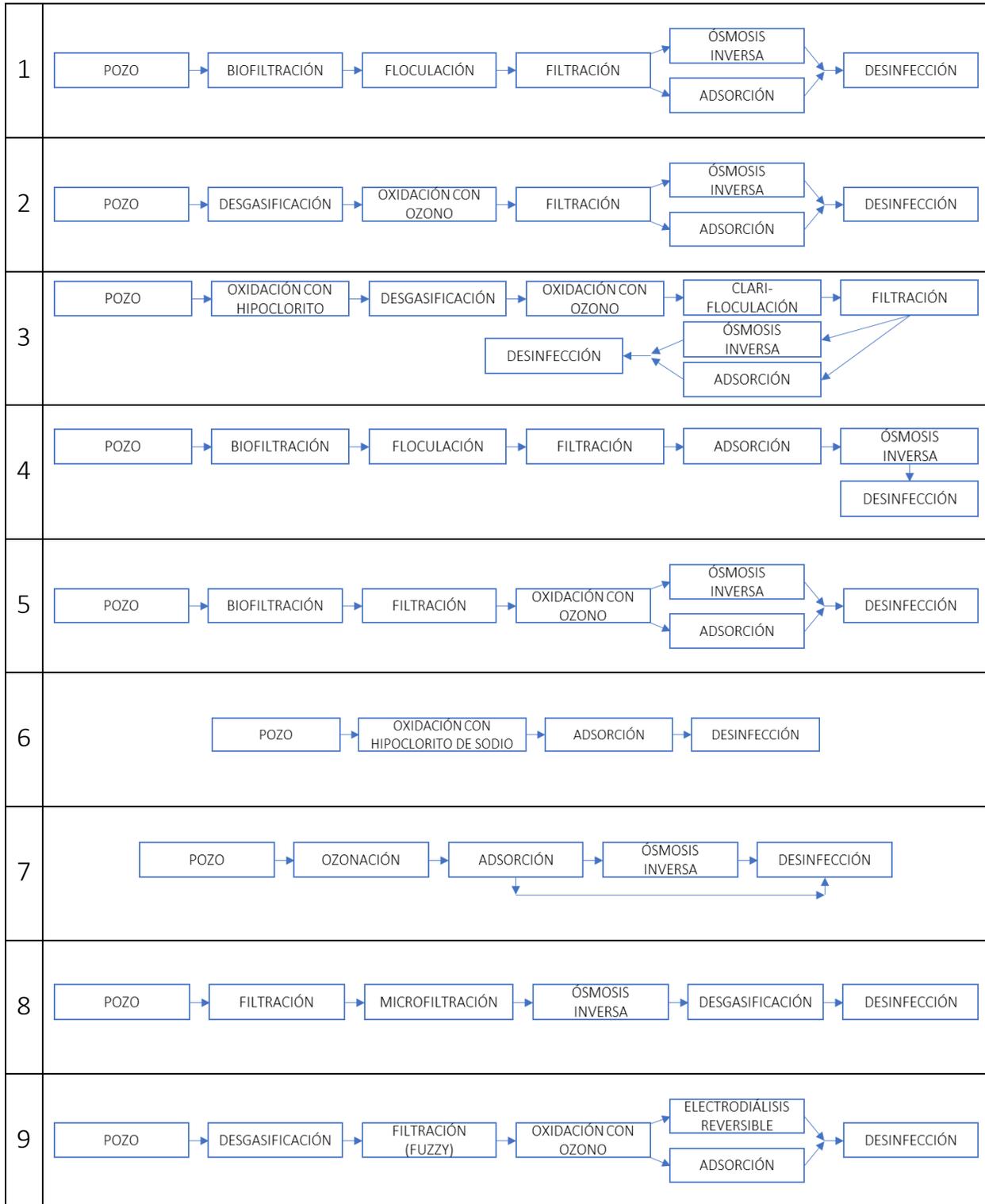
** Nota: Estas dos plantas estaban en operación en 2015, pero no en 2019 según el Inventario Nacional.*

VII.2 TRENES DE TRATAMIENTO EN LAS PTACH A EVALUAR

Con información de la Ing. Campos, se incluyen diagramas de procesos o trenes de tratamiento con los que operaban las PTACH en 2015. Como varias de ellas tienen el mismo tren, es posible agruparlas de la siguiente manera (ver Tabla VII-2):

Tren 1: Planta 5	Tren 6: Planta 4
Tren 2: plantas 1, 2 y 13	Tren 7: Planta 7
Tren 3: Planta 6	Tren 8: Planta 12
Tren 4: Planta 11	Tren 9: Planta 8
Tren 5: Planta 10	Sin información: plantas 3, 9 y 14

Tabla VII-2. Trenes de tratamiento en PTACH con OI en la Alcaldía Iztapalapa.



Nota: Aquellos trenes de tratamiento que no contemplan la OI eran los funcionales en 2015, actualmente según el Inventario Nacional las 14 PTACH seleccionadas tienen OI como proceso principal.

Elaborada con información de (Campos Lopez, 2015).

VII.3 PARÁMETROS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS PTACH A EVALUAR

Con datos que le fueron proporcionados a la Ing. Laura Moreno por parte de SACMEX, se puede remarcar las condiciones con las cuales trabajan las PTACH en Iztapalapa, resumiendo una breve caracterización del agua en la Tabla VII-3.

Tabla VII-3. Calidad del agua en el afluente y efluente de las PTACH en Iztapalapa con OI en 2019

Planta de Tratamiento de Agua para Consumo Humano		Turbiedad [UTN]		Color [U Pt/Co]		Nitrógeno amoniacal [mg/l]		Hierro total [mg/l]		Manganeso [mg/l]	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	Agrícola Oriental	0.960	0.550	5.000	5.000	0.415	0.100	0.326	0.108	0.328	0.030
2	Iztapalapa 1	5.500	3.600	17.500	17.500	1.240	1.215	0.165	0.207*	0.725	0.777*
3	Peñón 2	0.500	0.500	6.700	8.300*	1.582	0.523	0.030	0.030	0.053	0.030
4	Purísima 3 y 7	10.870	5.600	40.000	40.000	1.883	1.667	0.079	0.083	0.122	0.122
5	Purísima Democrática ¹	1.480	3.400*	120.000	50.000	6.000	5.265	0.041	0.175*	0.032	0.244*
6	Purísima Iztapalapa 4 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Purísima Iztapalapa 5	0.570	8.830*	76.700	50.000	6.460	4.033	0.030	0.117*	0.040	0.198*
8	Purísima Iztapalapa I	0.620	4.100*	70.000	25.000	6.860	6.220	-	-	-	-
9	San Lorenzo Tezonco Nuevo	1.400	1.400	50.000	50.000	1.970	0.510	-	-	-	-
10	Santa Catarina 10	16.130	19.470*	41.700	36.700	4.730	3.537	0.061	0.060	0.214	0.219*
11	Santa Catarina 13	0.930	1.730*	43.300	40.000	1.027	0.990	0.316	0.354*	0.703	0.706*
12	Santa Catarina 8 y 9	17.350	16.000	55.000	55.000	7.075	7.105*	0.076	0.070	0.107	0.109*
13	Sta. Cruz Meyehualco	5.330	1.400	92.500	78.800	4.473	1.493	0.246	0.123	0.096	0.104*
14	Tecomitl 2	0.500	0.500	35.000	30.000	2.643	0.380	0.301	0.078	0.133	0.088

Notas: ¹Estas dos plantas estaban en operación en 2015, pero no en 2019 según el Inventario Nacional. *El asterisco señala aquellos parámetros en los que la eficiencia de remoción es negativa, es decir que se aumenta la concentración de algún constituyente específico en el agua.

Los valores resaltados con negritas son aquellos que sobrepasan los límites máximos permisibles de la NOM-127: 5 UTN para la Turbiedad, 20 U Pt/Co para el Color, 0.5 mg/l para el Nitrógeno amoniacal, 0.3 mg/l para el Hierro total y 0.15 mg/l para el Manganeso.

Elaborada con información de (Moreno Rivera, 2021) proporcionada por SACMEX.

VII.4 PRINCIPALES CONTAMINANTES EN EL AGUA DEL AFLUENTE PARA LAS PTACH EN IZTAPALAPA.

En el capítulo V de este documento, se habló del *Estudio sobre el estado actual de acuíferos, la explotación de pozos, el abasto real y la demanda actual y potencial del líquido en la Ciudad de México* (de aquí en adelante referido como Estudio de Acuíferos) y se resumió que, con base en los pozos monitoreados de 2002 a 2017: el acuífero del cual se extrae agua en Iztapalapa ha tenido persistencia temporal¹⁵ en constituyentes como el Nitrógeno amoniacal, los Sulfatos, el Manganeso y la Turbidez; y una constante espacial¹⁶ en parámetros como el Cromo, el Nitrógeno Amoniacal, el pH, la Turbidez y el Manganeso; ver Tabla V-3 y el Anexo XII.2.

Para el año 2018, en el mismo Estudio de acuíferos se sobrepasaban los límites de la NOM-127 en 6 de 9 pozos con respecto al Nitrógeno Amoniacal, 4 de 9 pozos con respecto a Sólidos Disueltos Totales, 3 de 9 tuvieron presencia de coliformes fecales y 2 de 9 tuvieron presencia de Escherichia Coli o Enterococos Fecales. Es importante mencionar que de los pozos monitoreados solamente 4 dirigen sus aguas a alguna de las PTACH objeto de este trabajo, y son los mostrados en la Tabla VII-4.

Tabla VII-4. Cantidad de años en los que parámetros de calidad del agua han superado los límites de la NOM-127 en el influente de PTACH estudiadas durante el periodo 2002 – 2017.

Nombre del pozo SACMEX	pH [U pH]	Turbidez [UTN]	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ - [mg/l]	NH ₃ -N [mg/l]	As [mg/l]	B [mg/l]	Cr [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	Pb [mg/l]	CF [col/100ml]	CRL [mg/l]
P. P. IZTAPALAPA 1		8	4			5			1		9		1	1
POZO PEÑÓN 2 NUEVO	1					9								1
POZO SANTA CATARINA 9	2	7				8			1	4	2			
P. P. SANTA CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	1	4		11		12							1	

Nota: Elaborada con información de (Macías García & Mazari Hiriart, 2018)

¹⁵ De los 16 años monitoreados en los pozos (2002 – 2017), en alguno de ellos el parámetro ha incumplido por lo menos 7 veces los límites establecidos por la NOM-127

¹⁶ De los 16 años monitoreados en los pozos (2002 – 2017), los parámetros medidos han incumplido los límites establecidos por la NOM-127 en al menos el 50% de los pozos de los que se tiene información.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede resumir lo siguiente de los contaminantes en el afluente a las PTACH a evaluar:

- Del estudio de acuíferos, los contaminantes que más frecuentemente incumplen la NOM-127 son el Nitrógeno amoniacal, la Turbidez, el pH, el Manganeseo y los Sulfatos.
- De la información de la Ing. Laura Moreno, destacan como contaminantes más frecuentes: Nitrógeno amoniacal, Color, Turbidez, Manganeseo y Hierro.

Algunos parámetros de calidad del agua también son mostrados en la Tesina de la Ing. Alejandra manifestando un rango máximo y mínimo de mediciones previas al 2015, si bien los valores máximos no podrían ser representativos porque no se presentaron en la misma medición, los valores mínimos son de gran relevancia porque de nuevo justifica cuáles son los contaminantes más persistentes que nunca tuvieron una concentración menor a los Límites máximos permisibles de la NOM-127. Se tienen los datos respecto al influente de 9 de las 14 PTACH estudiadas y se resumen en la Tabla VII-5 y la Tabla VII-6.

- Según la información de la Ing. Alejandra Campos, los contaminantes que en más afluentes de las PTACH estudiadas podemos encontrar son Sólidos disueltos totales, Sodio, Nitrógeno amoniacal, Color, Manganeseo y Coliformes totales.

Tabla VII-5. Parámetros del afluente a las PTACH a evaluar. Valores máximos en mediciones previas al 2015.

PTACH ¹	Coliformes Totales [Col/100ml]	Coliformes Fecales [Col/100ml]	Color [U Pt/Co]	Turbiedad [UTN]	pH	Cloruros [mg/l]	Dureza total como CaCO ₃ [mg/l]	Hierro [mg/l]	Manganeso [mg/l]	N proteico [mg/l]	N amoniacal [mg/l]	Sodio [mg/l]	SDT [mg/l]	Sulfatos como SO ₄ [mg/l]	DQO [mg/l]	Conductividad Eléctrica [mS/cm]	Magnesio [mg/l]	Boro [mg/l]	Calcio [mg/l]
LMP	ND	ND	20.0	5.00	7.5±1	250.0	500.0	0.300	0.150	-	0.50	200.0	1000.0	400.0	-	-	-	-	-
1	100.0	ND	100.0	10.00	8.3	387.2	574.0	1.750	0.580	1.18	6.14	390.0	1564.0	-	31.0	2523.0	-	-	-
2	6.0	ND	50.0	20.00	7.8	-	564.0	-	1.250	0.61	3.53	664.0	2048.0	-	-	3027.0	-	-	87.0
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7.0	ND	200.0	19.00	8.6	384.0	-	0.450	-	1.74	7.33	593.0	1704.0	-	78.4	2725.0	-	-	-
6	3.0	ND	320.0	77.00	8.5	375.0	-	0.390	1.060	1.62	7.70	688.0	1820.0	-	93.7	2927.0	-	4.07	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	4.0	ND	70.0	23.00	9.0	516.0	-	1.760	-	0.92	3.48	694.0	2040.0	-	90.0	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.0	ND	40.0	15.5	-	-	642.5	-	0.352	0.66	3.81	415.5	1568.0	-	-	2623.0	118.1	-	-
11	1.0	ND	40.0	1.62	8.3	-	-	0.578	0.773	0.62	0.74	293.7	1530.0	-	37.6	1800.0	75.2	1.70	-
12*	27.0	1.0	51.3	4.22	8.0	108.5	167.9	0.559	0.247	-	3.65	209.0	813.7	36.8	-	-	-	-	-
13	-	ND	120.0	28.00	9.0	-	-	-	-	1.11	9.47	396.0	2252.0	778.0	100.2	3721.0	71.3	3.40	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Notas: LMP se refiere al Límite Máximo Permissible de cada parámetro con respecto a la NOM-127; ND = No detectable.

Para la elaboración de esta tabla se utilizó el valor máximo medido en el rango de calidad del agua en el afluente de las PTACH, según la información que la Ing. Campos recolectó en diversas fuentes. *El asterisco señala valores promedio en vez de los valores máximos.

Los valores resaltados con negritas son aquellos que sobrepasan los límites máximos permisibles de la NOM-127.

¹La enumeración de las PTACH es la misma correspondiente a la del apartado 0 y la Tabla VII-3.

Elaborada con información de (Campos Lopez, 2015).

Tabla VII-6. Parámetros del afluente a las PTACH a evaluar. Valores mínimos en mediciones previas al 2015.

PTACH ¹	Coliformes Totales [Col/100ml]	Coliformes Fecales [Col/100ml]	Color [U Pt/Co]	Turbiedad [UTN]	pH	Cloruros [mg/l]	Dureza total como CaCO ₃ [mg/l]	Hierro [mg/l]	Manganeso [mg/l]	N proteico [mg/l]	N amoniacal [mg/l]	Sodio [mg/l]	SDT [mg/l]	Sulfatos como SO ₄ [mg/l]	DQO [mg/l]	Conductividad Eléctrica [mS/cm]	Magnesio [mg/l]	Boro [mg/l]	Calcio [mg/l]
LMP	ND	ND	20.0	5.00	7.5±1	250.0	500.0	0.300	0.150	-	0.50	200.0	1000.0	400.0	-	-	-	-	-
1	100.0	ND	12.5	1.80	7.3	221.0	300.5	0.100	0.102	0.10	0.34	215.0	1040.0	-	5.0	1710.0	-	-	-
2	6.0	ND	5.0	0.50	7.6	-	196.0	-	0.030	0.10	0.10	208.0	1176.0	-	-	1513.0	-	-	22.0
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7.0	ND	40.0	0.50	8.1	210.0	-	0.052	-	0.22	3.05	456.0	1244.0	-	30.4	2018.0	-	-	-
6	3.0	ND	80.0	1.80	7.9	173.0	-	0.052	0.020	0.28	3.57	456.0	1558.0	-	36.1	2514.0	-	0.75	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	4.0	ND	15.0	0.50	7.9	245.0	-	0.052	-	0.34	1.46	412.0	1408.0	-	46.0	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.0	ND	20.0	3.66	-	-	423.8	-	0.183	0.34	3.03	249.5	1528.0	-	37.6	1513.0	75.0	-	-
11	1.0	ND	20.0	0.60	7.6	-	-	0.252	0.335	0.22	0.31	184.6	1088.0	-	14.2	1300.0	42.0	1.40	-
12*	27.0	1.0	51.3	4.22	8.0	108.5	167.9	0.559	0.247	-	3.65	209.0	813.7	36.8	-	-	-	-	-
13	-	ND	10.0	0.50	8.0	-	-	-	-	0.11	1.71	179.0	1460.0	591.0	14.4	2016.0	10.5	1.50	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Notas: LMP se refiere al Límite Máximo Permissible de cada parámetro con respecto a la NOM-127; ND = No detectable.

Para la elaboración de esta tabla se utilizó el valor máximo medido en el rango de calidad del agua en el afluente de las PTACH, según la información que la Ing. Campos recolectó en diversas fuentes. *El asterisco señala valores promedio en vez de los valores mínimos.

Los valores resaltados con negritas son aquellos que sobrepasan los límites máximos permisibles de la NOM-127.

¹La enumeración de las PTACH es la misma correspondiente a la del apartado 0 y la Tabla VII-3.

Elaborada con información de (Campos Lopez, 2015).

VIII. RESULTADOS. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS PTACH CON ÓSMOSIS INVERSA

VIII.1 NORMATIVIDAD Y MANUALES

Específicamente, la NOM-127 ha sido un referente para delimitar los límites máximos permisibles en la concentración o presencia de diversos contaminantes del agua, se han marcado en todas las tablas aquellos valores que sobrepasan dichos límites en el afluente de las PTACH que se evaluarán.

- A partir de lo revisado en el subtema VII.4, los parámetros que con más frecuencia sobrepasan los límites de la NOM-127 en el afluente de las PTACH son: el Nitrógeno amoniacal, el Manganeso, la Turbidez, el Color, el pH, los Sulfatos, el Hierro, el Sodio, los Sólidos disueltos totales y los Coliformes Totales.

La NOM-127 también propone las tecnologías de operaciones o procesos unitarios con los que se removerían eficientemente contaminantes específicos del agua, esta información se resumió en la Tabla IV-1. Con esas propuestas se podría comparar si es que en los trenes de tratamiento de las PTACH se cuenta con al menos esas tecnologías propuestas (o si es que se tiene alguna complementaria), tomando en cuentas los principales contaminantes en el afluente.

- En la Tabla VIII-1 se resumen los tratamientos recomendados para la potabilización del agua con base en los contaminantes más frecuentes en el afluente de las PTACH.
- Un tratamiento que incluyera Oxidación – Coagulación – Floculación – Sedimentación – Filtración, con sus respectivas pruebas previas de tratabilidad, podría reducir la concentración de Nitrógeno Amoniacal, Manganeso, Hierro, Color, Turbiedad y Sólidos Disueltos Totales. Podría ser complementado con Ósmosis Inversa para los casos en que haya persistencia de Sulfatos y Sodio, además de la neutralización y desinfección requeridas.
- En la Tabla VIII-2 se establecen algunas comparaciones de las características de las PTACH y los tratamientos propuestos por la NOM-127.

Tabla VIII-1. Tratamientos para la potabilización del agua recomendados por la NOM-127 para los parámetros contaminantes más frecuentes en las PTACH de estudio.

Parámetro que excede el límite permisible de la NOM-127	Tratamiento recomendado para la potabilización
Nitrógeno amoniacal	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.
Hierro y/o Manganeseo	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa .
Color, olor, sabor y turbiedad	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado.
pH	Neutralización
Sulfatos	Intercambio iónico u ósmosis inversa .
Sodio	Intercambio iónico (sería posible también con ósmosis inversa)
Sólidos Disueltos Totales	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración e/o intercambio iónico.
Bacterias, helmintos, protozoarios y virus	Desinfección con cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz UV; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas.

Nota: Elaborada con información de (DOF, 2000).

En diversos tomos del *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (de aquí en adelante referido como MAPAS) se establecen las afectaciones que tienen diversos contaminantes en el agua, así como sus posibles orígenes y el tratamiento recomendado por organismos nacionales e internacionales con el que se podrían remover. También existe la posibilidad de comparar las tecnologías de las PTACH con las propuestas, así como justificar la importancia de su eficiencia.

- En el libro 24 del MAPAS, titulado *Diseño de plantas potabilizadoras de tecnología simplificada* se establece cuáles son las afectaciones que tienen los diversos parámetros que limita la NOM-127 si se tuviese una exposición mayor a lo permisible en el agua potable, se menciona también cuál es el tratamiento convencional para disminuir la concentración del contaminante. Esta información se resume en la Tabla VIII-3.
- En la Tabla VIII-4 se establecen algunas comparaciones de las características de las PTACH y los tratamientos propuestos por la CONAGUA en el MAPAS 24.

Tabla VIII-2. Principales contaminantes en las PTACH de estudio, trenes de tratamiento y observaciones respecto a la NOM-127

Planta de Tratamiento de Agua para Consumo Humano		Tren de tratamiento	Principales contaminantes en el afluente de la PTACH. Datos previos a 2017	Observaciones con respecto a los tratamientos propuestos en la NOM-127
1	Agrícola Oriental	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	SDT, Na, CT	Faltaría CFSF para SDT
2	Iztapalapa 1	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	Mn, Turbidez, NH ₃ -N, SDT, Na, CT	Faltaría CFSF para SDT
3	Peñón 2	-	NH ₃ -N	
4	Purísima 3 y 7	OH+AD+DF		
5	Purísima Democrática ¹	BF+FL+FI+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, Color, CT	Faltaría CO y SE para el NH ₃ -N y los SDT
6	Purísima Iztapalapa 4 ¹	OH+DG+OO+CF+FI+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, Color, CT	Tren relativamente suficiente
7	Purísima Iztapalapa 5	OZ+AD+OI+DF		
8	Purísima Iztapalapa I	DG+FI+OO+(ED o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, CT	Faltaría CFSF para SDT
9	San Lorenzo Tezonco Nuevo	-		
10	Santa Catarina 10	BF+FI+OO+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, Mn, Color	Faltaría CFSF para SDT
11	Santa Catarina 13	BF+FL+FI+AD+OI+DF	SDT, Mn, Color, CT	Faltaría CO y SE para los SDT
12	Santa Catarina 8 y 9	FI+MF+OI+DG+DF	NH ₃ -N, Turbidez, Fe, Na, Mn, Color, CT	Faltaría AD para Turbidez y Color, tiene bastantes contaminantes
13	Sta. Cruz Meyehualco	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SO ₄ , Turbidez	Tren relativamente suficiente favorecido por la OI
14	Tecomitl 2	-		

Notas: ¹Estas dos plantas estaban en operación en 2015, pero no en 2019 según el Inventario Nacional. AD: Adsorción; BF: Biofiltración; CF: Clari-floculación; CO: Coagulación; CFSF: Coagulación-Floculación-Sedimentación-Filtración; DF: Desinfección; DG: Desgasificación; ED: Electrodialisis reversible; FI: Filtración; FL: Floculación; MF: Microfiltración; OH: Oxidación con Hipoclorito; OI: Ósmosis Inversa; OO: Oxidación con Ozono; OZ: Ozonación; SE: Sedimentación NH₃-N: Nitrógeno Amoniacal; Mn: Manganeso; SDT: Sólidos disueltos totales; Na: sodio; CT: Coliformes totales; SO₄: Sulfatos; Fe: Hierro. Elaborada con información de (Campos Lopez, 2015), (Macías García & Mazari Hiriart, 2018) y (DOF, 2000)

Tabla VIII-3. Tratamientos para la potabilización del agua recomendados por el MAPAS 24 para los parámetros contaminantes más frecuentes en las PTACH de estudio.

Parámetro que incumple la NOM-127	Características del parámetro	Tratamiento recomendado para la potabilización
Nitrógeno amoniacal NH ₃ -N	El nitrógeno amoniacal no es tóxico pero el amoníaco (NH ₃) sí lo es. En aguas subterráneas anaerobias su concentración puede ascender hasta 3 mg/l. Su presencia indica posible contaminación con aguas residuales. Genera problemas de olor (umbral de 1.5 mg/l) y de sabor (umbral de 35 mg/l), además interfiere con la desinfección si sobrepasa los 1.5 mg/l.	Desgasificación o Desorción en columna. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración (NOM-127)
Hierro	Aunque es un elemento esencial para la salud, su exceso puede llegar a dar color al agua (en un medio subterráneo anaerobio puede estar clara, pero al tener contacto con el oxígeno de la atmósfera el hierro ferroso se oxida a férrico). Sobrepasando los 0.3 mg/l llega a manchar la ropa y las tuberías, puede generar una biopelícula con bacterias que lo consumen.	Zeolitas o <i>greensand</i> , Precipitación por oxidación con aire a pH de 7 a 7.5, Sedimentación y filtración, Diversos oxidantes, Intercambio iónico o con Ósmosis inversa .
Manganeso	Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden ser elevadas. En aguas oxigenadas, el manganeso forma sólidos insolubles que precipitan fácilmente. Acelera el crecimiento biológico en los sistemas de distribución, taponan tuberías, mancha la ropa, contribuye a los problemas de olor, color y sabor del agua potable.	Precipitación por oxidación a pH alto (>9.5), Filtración con Zeolitas, Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración. Intercambio iónico u Ósmosis Inversa (NOM-127)
Color	Da una indicación rápida de la calidad del agua. Hay dos tipos de color: el verdadero, producido por sustancias disueltas y que es el parámetro considerado en la NOM-127, y el aparente, provocado por el color verdadero más el efecto de los sólidos en suspensión. El color puede ser originado por iones metálicos como el hierro y el manganeso, sustancias húmicas y plancton o algas.	Coagulación-floculación-sedimentación (determinando el pH óptimo) Adsorción en carbón o la Oxidación y filtración en zeolitas.

Turbiedad	<p>Se debe a la presencia de materia suspendida, orgánica e inorgánica, como arcilla, sedimentos, plancton y organismos microscópicos.</p> <p>Por lo general, las partículas que producen turbiedad varían entre 1 nm y 1 mm y provienen de la erosión de suelos y materiales, este tamaño fomenta el desarrollo de microorganismos en su superficie.</p> <p>Se recomienda clorar agua solo con niveles inferiores a las 5 UTN.</p>	<p>Coagulación-floculación-sedimentación-filtración</p> <p>Adsorción con carbono</p> <p>>100 UTN implicarían un tratamiento previo a la sedimentación</p>
pH	<p>Mide el balance de acidez de una solución de 0 (ácido) a 14 (alcalino).</p> <p>La corrosión es consecuencia de las complejas relaciones entre el pH, el CO₂, la dureza, la alcalinidad y la temperatura, por lo que se recomienda que el pH sea cercano a 7 (neutro)</p>	<p>Neutralización hasta llegar al intervalo 6.5 - 8.5</p>
Sulfatos SO ₄ ²⁻	<p>Los sulfatos son comunes en los acuíferos y pueden ser utilizados como fuente de oxígeno por bacterias sulfatorreductoras que lo convierten en ácido sulfhídrico.</p> <p>Altas concentraciones provocan catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal.</p>	<p>Intercambio iónico, Nanofiltración u Ósmosis Inversa.</p>
Sodio	<p>Es el 2.83% de la corteza terrestre. Es un constituyente natural de los tejidos de plantas y animales. Se asocia con la alta presión en la sangre y enfermedades del corazón si es consumido en exceso.</p>	<p>Intercambio iónico o procesos de membrana como Ósmosis Inversa.</p>
Sólidos Disueltos Totales	<p>Incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro) como materia orgánica. Son residuos persistentes después de filtrar con mallas de 1.2 mm de diámetro.</p>	<p>Coagulación-floculación-sedimentación-filtración e/o</p> <p>Intercambio iónico, Ósmosis inversa, electrodiálisis o destilación</p>
Coliformes Totales	<p>Abarca bacterias de tipo bacilos (cualquier bacteria en forma de bastoncillo) Gram negativos, las cuales pueden llegar a desarrollarse en agua contaminada e incluso en agua de buena calidad, por lo que no es un indicador definitivo como lo pueden ser los coliformes fecales.</p>	<p>Desinfección con cloración, Radiación UV u Ozonización.</p> <p>Filtración en múltiples etapas.</p>

Nota: Elaborada con información de (CONAGUA, 2019)

Tabla VIII-4. Principales contaminantes en las PTACH de estudio, trenes de tratamiento y observaciones respecto al libro 24 del MAPAS

Planta de Tratamiento de Agua para Consumo Humano		Tren de tratamiento	Principales contaminantes en el afluente de la PTACH. Datos previos a 2017	Observaciones con respecto a los tratamientos propuestos en el MAPAS
1	Agrícola Oriental	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	SDT, Na, CT	Tren favorecido por la OI
2	Iztapalapa 1	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	Mn, Turbidez, NH ₃ -N, SDT, Na, CT	Tren favorecido por la OI
3	Peñón 2	-	NH ₃ -N	
4	Purísima 3 y 7	OH+AD+DF		
5	Purísima Democrática ¹	BF+FL+FI+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, Color, CT	Faltaría DG o CFSF para el NH ₃ -N. Otros autores mencionan que la BF lo puede remover
6	Purísima Iztapalapa 4 ¹	OH+DG+OO+CF+FI+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, Color, CT	Tren relativamente suficiente
7	Purísima Iztapalapa 5	OZ+AD+OI+DF		
8	Purísima Iztapalapa I	DG+FI+OO+(ED o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, CT	Tren favorecido por la OI
9	San Lorenzo Tezonco Nuevo	-		
10	Santa Catarina 10	BF+FI+OO+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SDT, Na, Mn, Color	Faltaría DG o CFSF para el NH ₃ -N. Otros autores mencionan que la BF lo puede remover
11	Santa Catarina 13	BF+FL+FI+AD+OI+DF	SDT, Mn, Color, CT	Tren favorecido por la OI
12	Santa Catarina 8 y 9	FI+MF+OI+DG+DF	NH ₃ -N, Turbidez, Fe, Na, Mn, Color, CT	Faltaría CFSF o AD para Turbiedad y color, aunque la MF podría ser eficiente para ellos.
13	Sta. Cruz Meyehualco	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	NH ₃ -N, SO ₄ , Turbidez	Tren relativamente suficiente
14	Tecomitl 2	-		

Notas: ¹Estas dos plantas estaban en operación en 2015, pero no en 2019 según el Inventario Nacional.

AD: Adsorción; BF: Biofiltración; CF: Clari-floculación; CO: Coagulación; CFSF: Coagulación-Floculación-Sedimentación-Filtración; DF: Desinfección; DG: Desgasificación; ED: Electrodialisis reversible; FI: Filtración; FL: Floculación; MF: Microfiltración; OH: Oxidación con Hipoclorito; OI: Ósmosis Inversa; OO: Oxidación con Ozono; OZ: Ozonación; SE: Sedimentación

NH₃-N: Nitrógeno Amoniacal; Mn: Manganeso; SDT: Sólidos disueltos totales; Na: sodio; CT: Coliformes totales; SO₄: Sulfatos; Fe: Hierro.

Elaborada con información de (Campos Lopez, 2015), (Macías García & Mazari Hiriart, 2018) y (CONAGUA, 2019)

VIII.2 RELACIONES Y PROBLEMÁTICAS DIRECTAS

Al haber obtenido información de diversos documentos y características de las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, principalmente de la calidad del agua en el efluente, se elaboraron las tablas subsecuentes para conocer si es que alguno de los trenes de tratamiento es más o menos eficiente que otro al determinar su remoción lograda; o bien para determinar si alguna concentración elevada de algún constituyente en específico está generando ineficiencias en la potabilización del agua.

- Con base en la información del 2019 respecto a la calidad del agua en el afluente y efluente en las PTACH (resumida en la Tabla VII-3), se generó la Tabla VIII-5 que incluye la eficiencia de remoción (porcentaje) en los parámetros disponibles y destaca el cumplimiento o incumplimiento de la NOM-127 antes y después del tratamiento.
- Complementariamente, en la Tabla VIII-6 se muestra también la eficiencia de remoción de los parámetros disponibles, con base en la cantidad de contaminante removida en sus unidades correspondientes.

Por otra parte, en la Tesina de la Ing. Campos se mencionan algunas de las problemáticas que tienen las PTACH en sus procesos y en algunos casos también para los equipos electromecánicos y la infraestructura civil que la conforman. Agrupando las dificultades relacionadas con la Ósmosis Inversa se establece cuáles son las diferentes afectaciones y si es que son persistentes o se repiten en diferentes plantas.

- Las problemáticas relacionadas con los sistemas de Ósmosis Inversa se resumen en la Tabla VIII-7, se cuenta con la información para ocho de las catorce plantas.

Tabla VIII-5. Eficiencia en la remoción de contaminantes de las PTACH estudiadas, en 2019 y en porcentaje.

Planta de Tratamiento de Agua para Consumo Humano	Tren de tratamiento	Turbiedad	Color	Nitrógeno amoniacal	Hierro total	Manganeso
1 Agrícola Oriental	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	42.71%	0.00%	75.90%	66.87%	90.85%
2 Iztapalapa 1	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	34.55%	0.00%	2.02%	-25.45%	-7.17%
3 Peñón 2	-	0.00%	-23.88%	66.94%	0.00%	43.40%
4 Purísima 3 y 7	OH+AD+DF	48.48%	0.00%	11.47%	-5.06%	0.00%
5 Purísima Democrática ¹	BF+FL+FI+(OI o AD)+DF	-129.73%	58.33%	12.25%	-326.83%	-662.50%
6 Purísima Iztapalapa 4 ¹	OH+DG+OO+CF+FI+(OI o AD)+DF	-	-	-	-	-
7 Purísima Iztapalapa 5	OZ+AD+OI+DF	-1449.12%	34.81%	37.57%	-290.00%	-395.00%
8 Purísima Iztapalapa I	DG+FI+OO+(ED o AD)+DF	-561.29%	64.29%	9.33%	-	-
9 San Lorenzo Tezonco Nuevo	-	0.00%	0.00%	74.11%	-	-
10 Santa Catarina 10	BF+FI+OO+(OI o AD)+DF	-20.71%	11.99%	25.22%	1.64%	-2.34%
11 Santa Catarina 13	BF+FL+FI+AD+OI+DF	-86.02%	7.62%	3.60%	-12.03%	-0.43%
12 Santa Catarina 8 y 9	FI+MF+OI+DG+DF	7.78%	0.00%	-0.42%	7.89%	-1.87%
13 Sta. Cruz Meyehualco	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	73.73%	14.81%	66.62%	50.00%	-8.33%
14 Tecomitl 2	-	0.00%	14.29%	85.62%	74.09%	33.83%

Notas: ¹Estas dos plantas estaban en operación en 2015, pero no en 2019 según el Inventario Nacional.

AD: Adsorción; BF: Biofiltración; CF: Clari-floculación; DF: Desinfección; DG: Desgasificación; ED: Electrodialisis reversible; FI: Filtración; FL: Floculación; MF: Microfiltración; OH: Oxidación con Hipoclorito; OI: Ósmosis Inversa; OO: Oxidación con Ozono; OZ: Ozonación.

Los porcentajes negativos representan un incremento en la concentración contaminante de cada parámetro.

Los parámetros cuya celda está resaltada con un sombreado gris sobrepasan los límites de la NOM-127 en el afluente (entrada) de las PTACH.

Aquellos parámetros resaltados con negritas son los que incumplen la NOM-127 en la calidad de agua en el efluente (salida) de las PTACH.

Elaborada con información de (Moreno Rivera, 2021).

Tabla VIII-6. Remoción de contaminantes de las PTACH estudiadas, en 2019.

Planta de Tratamiento de Agua para Consumo Humano		Tren de tratamiento	Turbiedad [UTN]	Color [U Pt/Co]	Nitrógeno Amoniacal [mg/l]	Hierro total [mg/l]	Manganeso [mg/l]
1	Agrícola Oriental	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	0.41	0.00	0.32	0.22	0.30
2	Iztapalapa 1	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	1.90	0.00	0.02	-0.04	-0.05
3	Peñón 2	-	0.00	-1.60	1.06	0.00	0.02
4	Purísima 3 y 7	OH+AD+DF	5.27	0.00	0.22	-0.004	0.00
5	Purísima Democrática ¹	BF+FL+FI+(OI o AD)+DF	-1.92	70.00	0.74	-0.13	-0.21
6	Purísima Iztapalapa 4 ¹	OH+DG+OO+CF+FI+(OI o AD)+DF					
7	Purísima Iztapalapa 5	OZ+AD+OI+DF	-8.26	26.70	2.43	-0.09	-0.16
8	Purísima Iztapalapa I	DG+FI+OO+(ED o AD)+DF	-3.48	45.00	0.64		
9	San Lorenzo Tezonco Nuevo	-	0.00	0.00	1.46		
10	Santa Catarina 10	BF+FI+OO+(OI o AD)+DF	-3.34	5.00	1.19	0.00	-0.01
11	Santa Catarina 13	BF+FL+FI+AD+OI+DF	-0.80	3.30	0.04	-0.04	0.00
12	Santa Catarina 8 y 9	FI+MF+OI+DG+DF	1.35	0.00	-0.03	0.01	0.00
13	Sta. Cruz Meyehualco	DG+OO+FI+(OI o AD)+DF	3.93	13.70	2.98	0.12	-0.01
14	Tecomitl 2	-	0.00	5.00	2.26	0.22	0.05

Notas: ¹Estas dos plantas estaban en operación en 2015, pero no en 2019 según el Inventario Nacional.

AD: Adsorción; BF: Biofiltración; CF: Clari-floculación; DF: Desinfección; DG: Desgasificación; ED: Electrodialisis reversible; FI: Filtración; FL: Floculación; MF: Microfiltración; OH: Oxidación con Hipoclorito; OI: Ósmosis Inversa; OO: Oxidación con Ozono; OZ: Ozonación.

Los valores negativos representan un incremento en la concentración contaminante de cada parámetro.

Los parámetros cuya celda está resaltada con un sombreado gris sobrepasan los límites de la NOM-127 en el afluente (entrada) de las PTACH.

Aquellos parámetros resaltados con negritas son los que incumplen la NOM-127 en la calidad de agua en el efluente (salida) de las PTACH.

Elaborada con información de (Moreno Rivera, 2021).

Tabla VIII-7. Problemáticas específicas asociadas a los sistemas de Ósmosis Inversa.

Planta de Tratamiento de Agua para Consumo Humano		Problemáticas específicas asociadas al sistema de Ósmosis Inversa (OI)
1	Agrícola Oriental	La mala calidad del agua de alimentación a los equipos de Ósmosis Inversa ocasiona paros continuos en la operación, requiriéndose un lavado constante de los módulos.
2	Iztapalapa 1	Los sistemas de filtración no tienen un ciclo optimizado para el lavado, por lo que llega a tener mayor concentración de contaminantes antes de la Ósmosis Inversa. No hay problemas directos en el sistema de OI.
3	Peñón 2	-
4	Purísima 3 y 7	Sin información de problemáticas.
5	Purísima Democrática ¹	Antes de su rehabilitación el proceso de coagulación no funcionaba, por ende, tampoco la OI pues trabajar con esa calidad del agua hace que las membranas rápidamente debieran ser cambiadas.
6	Purísima Iztapalapa 4 ¹	En 2007, antes de su rehabilitación, se dejó de operar porque los filtros no brindaban la calidad adecuada para alimentar los procesos de OI.
7	Purísima Iztapalapa 5	Sin información de problemáticas.
8	Purísima Iztapalapa I	Sin información de problemáticas.
9	San Lorenzo Tezonco Nuevo	Sin información de problemáticas.
10	Santa Catarina 10	Antes de una rehabilitación en 2012, los sistemas de OI dejaban de funcionar por fugas en la línea de alimentación de ácido sulfúrico. No se cuenta con un programa de lavado óptimo para las membranas.
11	Santa Catarina 13	No se tiene un programa de lavado y enjuague de las membranas de OI y el personal desconoce la manera en que deben realizarse.
12	Santa Catarina 8 y 9	Frecuentemente el equipo de OI está fuera de operación, ya que las membranas no reciben el mantenimiento adecuado.
13	Sta. Cruz Meyehualco	Los equipos de OI se detienen frecuentemente, pues la mala calidad de alimentación provoca incrustaciones en las membranas.
14	Tecomitl 2	-

Notas: ¹Estas dos plantas estaban en operación en 2015, pero no en 2019 según el Inventario Nacional. Elaborada con información de (Campos Lopez, 2015).

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Inicialmente, la revisión de diversos documentos permitió resumir y tabular la mayor cantidad posible de parámetros y características de las PTACH. Se generó información relevante para doce de las veinticinco plantas que en el Inventario Nacional se registraron en funcionamiento y con Ósmosis Inversa en 2019, además de otras que estaban en operación en años previos.

Se identificaron los procesos empleados para la remoción o disminución de diversos contaminantes en el agua. La NOM-127 tiene recomendaciones para el tratamiento con menos alternativas que las presentadas en el MAPAS, en este último documento se considera que el tratamiento del agua puede ser favorecido por la Ósmosis Inversa al tener la capacidad de disminuir la concentración de variados constituyentes, incluso más del 50% de los más comunes en los afluentes de las PTACH.

Si bien la Ósmosis Inversa tiene la posibilidad de separar una gran variedad de partículas del agua (de 0.025 a 0.2 mm), se ha establecido que no por ello debe ser el sistema que elimine la mayor parte de los contaminantes. Como se vio en la Tabla VIII-2 y la Tabla VIII-4, muchos de los trenes de tratamiento que incluyen Ósmosis no contemplan otra operación o proceso que elimine los contaminantes específicos del afluente, provocando así la saturación de las unidades de membranas.

La comparación de los diversos trenes de tratamiento en las PTACH, así como los diferentes contaminantes más persistentes en sus afluentes, permitió identificar que por ejemplo tres plantas (Agrícola Oriental, Iztapalapa 1 y Sta. Cruz Meyehualco) tienen el mismo tren de tratamiento, pero no coinciden los contaminantes. Esto a tal punto que si no fuese por la Ósmosis Inversa los otros procesos serían insuficientes (teóricamente) para remover todos los contaminantes, reiterando así que los sistemas de Ósmosis Inversa están siendo “sobreexplotados” al pretender que remuevan contaminantes de, por ejemplo, mayor tamaño.

Al revisar los datos de la calidad del agua en el efluente de las plantas, aunque son limitados, corresponden a algunos de los parámetros que con más frecuencia incumplen con los límites máximos permisibles que establece la NOM-127 para el agua potable; sin embargo, podemos evaluar en un grado parcial la operación y el funcionamiento de las PTACH con la información resumida en la Tabla IX-1.

Tabla IX-1. Análisis de la eficiencia en la remoción de contaminantes de las PTACH operando en 2019 en Iztapalapa y que tienen Ósmosis Inversa como proceso de tratamiento principal.

OPERACIÓN GENERAL DE LAS 13 PTACH QUE SE TIENE INFORMACIÓN
Por el incumplimiento de al menos un parámetro en el efluente de la PLANTA, doce de ellas no dan un tratamiento al agua hasta tener la calidad potable necesaria, solamente Agrícola Oriental suministra un servicio eficiente.
La planta Santa Catarina 10, a pesar de tener un tren de tratamiento que parece suficiente, en su efluente no cumple con los límites permisibles de calidad que establece la NOM-127 respecto a la Turbiedad, el Color, el Nitrógeno Amoniacal, el Hierro Total ni el Manganeso, es decir que incumple los cinco parámetros evaluados.
Seis de las PTACH incumplen con al menos tres parámetros de la NOM-127 en su efluente.
Los parámetros que con mayor frecuencia incumplen los límites máximos permisibles de la NOM-127 son el Nitrógeno Amoniacal en doce plantas, seguido por el Color en diez de ellas.
Existen casos en los que el afluente de la planta cumplía con la NOM-127 y en el efluente se elevaron las concentraciones de algún contaminante hasta el punto de incumplirla, como es el caso del manganeso en Purísima Democrática y el manganeso y la turbiedad en Purísima Iztapalapa 5.
En algunas de las plantas se tienen eficiencias de remoción nulas o incluso negativas, lo cual implica que las concentraciones de algún contaminante aumentaron debido a la alta cantidad de agua de rechazo poco concentrada (por la ineficiencia de los procesos).
La mayor cantidad de remociones negativas se dio con el manganeso en siete casos, seguida por la turbiedad y el hierro total en cinco casos respectivamente.
Las remociones negativas más altas fueron de -1449% para la turbiedad y -395% y -662% para el manganeso. En la planta Purísima Iztapalapa es que se dieron 2 de estos valores.
Con respecto a las remociones nulas o negativas, se tuvieron ocho casos en cuanto a la turbiedad, seis casos para el color, un caso para el nitrógeno amoniacal, al menos siete para el hierro total y ocho para el manganeso, en estos dos últimos parámetros se tienen dos plantas sin registro para la calidad del agua en el efluente.

La mayor remoción de turbiedad se dio en la Planta Purísima 3 y 7 donde se removieron 5.27 UTN; en Purísima Democrática se removieron 70 unidades de color; en Santa Cruz Meyehualco se removieron 2.98 mg/l de nitrógeno amoniacal; en Tecomitl 2 y en Agrícola Oriental se removieron 0.22 mg/l de hierro total; y en la Agrícola Oriental se removieron hasta 0.3 mg/l de manganeso.

De las 3 plantas que tienen el mismo tren de tratamiento (Agrícola Oriental, Iztapalapa 1 y Sta. Cruz Meyehualco), Agrícola Oriental es la única cuyo efluente cumple con la NOM-127 para nitrógeno amoniacal; sin embargo, es porque su concentración inicial no sobrepasa dicha norma.

La Planta en la que el efluente incumple con los límites de la NOM-127 por las concentraciones más altas de cada parámetro son:

Turbiedad: Santa Catarina 10 (19.47 UTN) y Santa Catarina 8 y 9 (16 UTN)

Color: Santa Cruz Meyehualco (78.8 U Pt/Co) y Santa Catarina 8 y 9 (55 U Pt/Co)

N amoniacal: Santa Catarina 8 y 9 (7.105 mg/l) y Purísima Iztapalapa I (6.22 mg/l)

Hierro Total: Santa Catarina 13 (0.354 mg/l)

Manganeso: Iztapalapa 1 (0.777 mg/l) y Santa Catarina 13 (0.706 mg/l)

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, aun cuando sus tratamientos no son suficientes para producir un efluente potable, se podría decir que las plantas con las mejores eficiencias de remoción en contaminantes son Agrícola Oriental y Santa Cruz Meyehualco. Por el contrario, las plantas con las peores eficiencias de remoción son Santa Catarina 10, Santa Catarina 13, Purísima 3 y 7 e Iztapalapa 1.

De las problemáticas específicas que se registraron en cada Planta, se considera que en los sistemas de Ósmosis Inversa están mayormente relacionadas con el mal funcionamiento de las operaciones y procesos unitarios previos que alimentan al sistema, pues la mala calidad del agua en la entrada provoca paros continuos en la operación. Principalmente, se generan problemas de colmatación, lo cual se traduce en una mayor cantidad y frecuencia de lavados; que las membranas disminuyen su capacidad de permeado y por ende las concentraciones de contaminantes en la salida son mayores (porque se rechaza más agua); y más severamente se llegan a producir incrustaciones, las cuales demandan lavados químicos que si los operadores desconocen de su proceso podrían no hacerlos y rápidamente se disminuiría la vida útil de las membranas.

Entonces, los problemas de concentraciones crecientes en los efluentes (eficiencias de remoción negativas) pueden estar relacionados con la OI, pues esta operación unitaria solo disminuye la concentración de ciertos contaminantes en el agua (no los elimina). En la mayoría de los trenes de tratamiento, hay una parte del flujo que pasa por Ósmosis Inversa y otra parte por Adsorción en Carbón con la finalidad de disminuir las concentraciones de diferentes contaminantes y al volver a unir los flujos mantener una concentración por debajo de los límites de la normatividad. Ahora bien, si el sistema de Ósmosis Inversa pierde su capacidad de permeado, provoca un mayor rechazo de agua elevando así las concentraciones de contaminantes en los efluentes al unirse antes de la desinfección.

Por otra parte, como se puede ver en las tablas del Capítulo VIII, en el que se presentan comparaciones de los trenes de tratamiento, la remoción de muchos contaminantes se deja como tarea para los sistemas de Ósmosis Inversa. Esto implica que si hay un caudal de alimentación que no cumpla con los requerimientos de las membranas, serían necesarios paros continuos en la operación, de lo contrario la calidad del agua se vería afectada al grado de incumplir en más de un parámetro de potabilización; por lo tanto, es pertinente no adjudicar la labor de remoción de partículas mayores a 5 mm en las membranas de Ósmosis Inversa y garantizar que los filtros previos en el tren de tratamiento garanticen la retención de las partículas mayores a ese tamaño, como lo estipula el Manual de la AWWA.

X. CONCLUSIONES

La evaluación del funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua para uso y consumo humano, basadas en tecnología de ósmosis inversa, permitió definir que:

- Si la ósmosis inversa tiene como objetivo remover diversos contaminantes implica que la falla de este sistema afecte la potabilización del agua en varios parámetros de su calidad, más aún si no se tienen diferentes módulos o trenes con procesos alternativos o de emergencia.
- Es necesario cumplir con los parámetros que las membranas requieren en el agua que las alimentará, pues de lo contrario serían necesarios más lavados químicos o incluso se provoca la reducción de la vida útil que pudieran alcanzar.

Si los sistemas de ósmosis inversa son ineficientes, el tratar de remediarlos se vuelve más costoso al demandar un mayor mantenimiento en sus componentes. Por otra parte, si solo se corrige cambiando las membranas inservibles por otras nuevas, más allá de las complicaciones técnicas también se incrementa la generación de residuos que ya son excesivos.

La revisión documental de diversas fuentes permitió generar las tablas y matrices de verificación planteadas como objetivo para definir las plantas potabilizadoras útiles para el estudio, contemplando los procesos y operaciones unitarios en su tren de tratamiento, los principales contaminantes en su afluente y su persistencia temporal, y las eficiencias de remoción al saber que la ósmosis inversa es su operación de tratamiento principal.

Emplear software como Google Earth y QGIS para generar un sistema de información geográfica es útil para visualizar la distribución espacial de las plantas potabilizadoras y tabular los rasgos y procesos que las caracterizan. La creación del mapa planteado en los objetivos se realizó con éxito.

Al definir las principales problemáticas de las plantas potabilizadoras con ósmosis inversa, se determinó que la situación más común a la que se enfrentan los operadores es que la calidad del agua en la entrada de este sistema no cumple con las características necesarias para el óptimo funcionamiento de las membranas semipermeables.

Aunque las pruebas de tratabilidad deberían regir en un principio cuáles son las operaciones y procesos unitarios que compondrían un tren de tratamiento, hay ocasiones en las que los organismos operadores replican el funcionamiento de una PTACH en otra, provocando así ineficiencias en la potabilización del agua cuya caracterización siempre es distinta.

Las plantas potabilizadoras deberían estar diseñadas con módulos complementarios los cuales permitan dar el tratamiento necesario en cada etapa del tren aun cuando el proceso principal tenga fallas, pues la mala calidad del agua en la entrada de algún proceso u operación unitaria hace que los sistemas subsecuentes no sean eficientes, que requieran mayor mantenimiento o incluso que fallen de manera irreversible.

XI. REFERENCIAS

- Alcaldía Iztapalapa. (s.f.). Recuperado el Enero de 2022, de Demografía: <http://www.iztapalapa.cdmx.gob.mx/>
- American Water Works Association [AWWA]. (2007). *Reverse Osmosis and Nanofiltration. Manual of Water Supply Practices*. Denver, Estados Unidos: Water Research Foundation. Recuperado el 2022, de <https://www.awwa.org/Portals/0/files/publications/documents/M46LookInside.pdf>
- Bañuelos Díaz, J. A. (Junio de 2021). Calidad del agua para uso y consumo humano en la Ciudad de México. Acciones para mejorar. *H2O Gestión del agua*(28), 12-16.
- Campos Lopez, A. (2015). *Potabilización del agua para suministro en la Ciudad de México [TESINA]*. México, Distrito Federal: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- CONAGUA. (2019). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Ciudad de México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Desinfección Para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. México.
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada*. México. Recuperado el 2021, de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro24.pdf>
- CONAGUA. (Julio de 2021). *Acuíferos*. Recuperado el Enero de 2022, de Sistema Nacional de Información del Agua: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?Todos=todos>
- CONAGUA. (Julio de 2021). *Agua y Salud*. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?Todos=todos>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const.]. (2021). *Artículo 115 [Título quinto]*. México: H. Congreso de la Unión.
- Del Castillo, L. F. (1997). *El fenómeno mágico de la ósmosis*. México: Fondo de Cultura Económica. Recuperado el Enero de 2022, de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/16/html/fenomeno.html>
- DOF. (2000). *NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. México: SEGOB. Obtenido de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=22/11/2000
- García Cano, J. L. (1974). *OSMOSIS INVERSA [Tesis de Ingeniería]*. México, D. F.: UNAM. Facultad de Química.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2022). *Dependencia*. Recuperado el Enero de 2022, de Sistema de aguas de la ciudad de México: <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de>

- INEGI. (2020). Obtenido de Censo de Población y Vivienda 2020: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED]. (2010). *Delegación del Distrito Federal. Iztapalapa*. Recuperado el Enero de 2022, de Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM09DF/index.html>
- Macías García, C., & Mazari Hiriart, M. (2018). *ESTUDIO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE MANTOS ACUÍFEROS, LA EXPLOTACIÓN DE POZOS, EL ABASTO REAL Y LA DEMANDA ACTUAL Y POTENCIAL DEL LÍQUIDO EN LA CIUDAD DE MÉXICO*. Ciudad de México: Consejo Económico y Social de la Ciudad de México.
- Moreno Rivera, L. E. (2021). *DESARROLLO DE MAPAS DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO [Tesis de Maestría]*. Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Oasis Exprés. (16 de diciembre de 2020). ¿Cómo lavar la membrana de mi ósmosis inversa? [VIDEO]. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=t3m2Z7rOfVo&ab_channel=OasisExpr%C3%A9s
- PAOT. (2017). *PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO DE IZTAPALAPA*. Recuperado el Enero de 2022, de Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano: <https://paot.org.mx/centro/programas/delegacion/>
- SACMEX. (14 de Julio de 2020). Programa Estratégico para Garantizar el Derecho al Agua. 2020-2024. (G. d. México, Ed.) Ciudad de México. Recuperado el Enero de 2022, de <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Proyectos/programa-estrategico-2020-2024.pdf>
- Sandoval Romero, F., Valdivia Alcalá, R., Cuevas Alvarado, C. M., Hernández Ortiz, J., Medellín-Azuara, J., & Hernández Ávila, A. (2016). Valoración económica del agua potable en la delegación Iztapalapa, D. F. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- SEDEMA. (2016). *Delegación x delegación, habitante x habitante*. Obtenido de Cuidar el agua es cosa de tod@s: <http://www.cuidarelagua.cdmx.gob.mx/delegacion.html>
- Wikipedia. (31 de Agosto de 2021). *Difusión (física)*. Recuperado el Enero de 2022, de Wikipedia. La enciclopedia libre: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Difusi%C3%B3n_\(f%C3%ADsica\)&oldid=138040406](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Difusi%C3%B3n_(f%C3%ADsica)&oldid=138040406)
- Wikipedia. (Septiembre de 2021). *Membrana semipermeable*. Recuperado el Enero de 2022, de Wikipedia. La enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Membrana_semipermeable&oldid=138548588
- Wikipedia. (Enero de 2022). *Presión osmótica*. Recuperado el Enero de 2022, de Wikipedia. La enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Presi%C3%B3n_osm%C3%B3tica&oldid=140874634

XII. ANEXOS

XII.1 NOM-127-SSA1-1994. SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO – LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN. (DOF, 2000).

Tabla XII-1. Límites máximos permisibles para parámetros de calidad en el agua potable.

PARÁMETRO [UNIDADES]	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE EN LA NOM-127-SSA1-1994
Límites permisibles de características bacteriológicas	
Coliformes totales [NMP/100 ml]	Ausencia o no detectables
E. Coli o coliformes fecales u organismos termo tolerantes	Ausencia o no detectables
Límites permisibles de características físicas y organolépticas	
Color [Unidades de color verdadero Pt/Co]	20
Olor	Agradable
Sabor	Agradable
Turbiedad [Unidades de turbiedad nefelométricas UTN]	5
Límites permisibles de características químicas	
Aluminio [mg/l]	0.20
Arsénico (2005) [mg/l]	0.025
Bario [mg/l]	0.70
Cadmio [mg/l]	0.005
Cianuros como CN [mg/l]	0.07
Cloro residual libre después de un tiempo de contacto mínimo de 30 min [mg/l]	0.2 – 1.50
Cloruros como Cl ⁻ [mg/l]	250.0
Cobre [mg/l]	2.0
Cromo total [mg/l]	0.05
Dureza total como CaCO ₃ [mg/l] (Alcalinidad)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos [mg/l]	0.3
Fierro [mg/l]	0.3
Fluoruros como F ⁻ [mg/l]	1.50
Hidrocarburos aromáticos:	
Benceno [mg/l]	10.0
Etilbenceno [mg/l]	300.00
Tolueno [mg/l]	700.0
Xileno (tres isómero) [mg/l]	500.00
Manganeso [mg/l]	0.15

Mercurio [mg/l]	0.001
Nitratos como N [mg/l]	10.00
Nitritos como N [mg/l]	1.00
Nitrógeno amoniacal como N [mg/l]	0.50
pH [unidades de pH]	6.5 – 8.5
Plaguicidas:	
Aldrín y Dieldrín (separados o combinados) [mg/l]	0.03
Clordano (total de isómeros) [mg/l]	0.20
DDT (Dicloro difenil tricloro etano) [mg/l]	1.00
Gamma-HCH (Lindano) [mg/l]	2.0
Hexaclorobenceno [mg/l]	1.00
Heptacloro y epóxido de heptacloro [mg/l]	0.03
Metoxicloro (1,1,1-Tricloro, 2,2, bis 20.00 (p-metoxi-fenil) etano) [mg/l]	20.00
2,4-D (Acido 2,4 – diclorofenoxiacético) [mg/l]	30
Plomo [mg/l]	0.01
Sodio [mg/l]	200.00
Sólidos disueltos totales [mg/l]	1000.00
Sulfatos como SO ₄ [mg/l]	400.00
Sustancias activas al azul de metileno [mg/l]	0.50
Trihalometanos totales [mg/l]	0.20
Yodo residual libre [mg/l]	0.2 – 0.5
Zinc [mg/l]	5.00
Límites permisibles de características radiactivas	
Radiactividad alfa total [Bq/L]	0.56
Radiactividad beta total [Bq/L]	1.85

Nota: Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos. Elaborada con información de (DOF, 2000).

XII.2 ESTUDIO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE MANTOS ACUÍFEROS, LA EXPLOTACIÓN DE POZOS, EL ABASTO REAL Y LA DEMANDA ACTUAL Y POTENCIAL DEL LÍQUIDO EN LA CIUDAD DE MÉXICO. (MACÍAS GARCÍA & MAZARI HIRIART, 2018)

Tabla XII-2. Lista de parámetros de calidad del agua seleccionados para la sistematización de la información (Tabla 2).

Físicos	Inorgánicos	Metales y metaloides*	Microbiológicos	Residuales de la desinfección del agua
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Coliformes totales (col/100 mL)	Cloro libre residual (mg/L)
pH (U pH)	Sulfatos (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Coliformes fecales (col/100 mL)	
Turbidez (UNT)	Nitratos (mg/L)	Bario (mg/L)		
	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	Boro (mg/L)		
		Cadmio (mg/L)		
		Cobre (mg/L)		
		Cromo hexavalente (mg/L)		
		Fierro (mg/L)		
		Manganeso (mg/L)		
		Mercurio (m/L)		
		Plomo (mg/L)		
		Zinc (mg/L)		

Tabla XII-3. Concentración promedio de parámetros fisicoquímicos y de compuestos inorgánicos en agua de los pozos muestreados en la CDMX durante el periodo junio-agosto de 2018 (Tabla 4).00

Nombre del pozo	Fecha	Gasto (L/s)	T (°C)	Cond (µS/cm)	SDT (mg/L)	Sal (psu)	OD (mg/L)	pH	ORP (mV)	Turb (NTU)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
Deportivo Durango	11/06/2018	32.6	16.8	240.3	185.0	0.1	6.8	6.7	146.6	0.2	0.03	4.50	0.52	0.7
Auxiliar Xotepingo 4-A	11/06/2018	39	16.6	368.0	284.7	0.2	5.6	6.7	139.7	0.0	0.04	1.63	0.43	0.0
Reyes Coyoacán	12/06/2018	50	18.2	485.0	362.0	0.3	6.0	6.7	133.3	0.0	0.01	4.83	0.48	40.3
Periférico 12	12/06/2018		22.8	437.0	296.3	0.2	4.3	7.4	138.5	0.0	0.01	0.90	0.29	14.0
Metro CU	12/06/2018	39	17.7	385.0	290.7	0.2	6.0	7.1	230.3	*8.5	0.00	4.60	0.53	25.0
San Fernando	15/06/2018	30	14.8	137.7	111.0	0.1	7.2	7.6	147.7	0.0	0.00	1.90	0.54	6.3
FLACSO	18/06/2018	20	17.2	320.0	244.3	0.2	6.9	7.1	178.4	0.0	0.01	7.03	0.76	39.3
San Luis 19	19/06/2018	26.7	16.7	492.3	358.3	0.3	5.3	7.2	158.9	0.0	0.01	4.57	1.91	54.0
San Luis 9	19/06/2018		16.4	192.7	149.3	0.1	5.4	7.2	192.3	0.0	0.07	3.00	0.69	11.3
La Noria 1	20/06/2018	15	18.8	370.3	273.3	0.2	5.2	7.7	142.1	0.0	0.01	*34.67	0.80	239.2
La Noria 2	20/06/2018	62	20.6	371.3	263.0	0.2	5.8	7.6	171.0	0.0	0.00	*32.00	0.99	320.2
Reclusorio Sur 1	20/06/2018		18.4	255.7	190.0	0.1	7.1	7.2	202.4	0.0	0.00	*23.33	0.76	267.2
S-6	20/06/2018	37	16.9	133.0	111.0	0.1	8.4	7.4	198.6	0.0	0.01	8.33	0.71	242.4
S-13 (infl.)	21/06/2018	38	15.5	362.3	287.7	0.2	S.D.	7.5	-168.7	0.0	0.32	0.93	0.80	13.0
Escudo Nacional 2 (infl.)	21/06/2018	45.6	16.7	236.0	183.7	0.1	S.D.	8.1	-182.7	0.0	*1.34	0.77	0.78	0.0
Tecómitl 10	25/06/2018	44.8	15.9	564.3	441.7	0.3	4.7	7.7	-181.8	2.0	*2.33	0.57	1.23	9.7
Tecómitl 15	25/06/2018	53	15.2	148.3	118.7	0.1	6.2	7.4	108.6	0.5	0.00	1.33	0.56	9.3
Tecómitl 8 (RN)	25/06/2018	20	15.2	820.0	650.7	0.5	3.4	7.4	28.5	1.8	*2.41	0.50	2.89	2.3

Nombre del pozo	Fecha	Gasto (L/s)	T (°C)	Cond (µS/cm)	SDT (mg/L)	Sal (psu)	OD (mg/L)	pH	ORP (mV)	Turb (NTU)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
Tecómitl 21	26/06/2018	54	18.0	1164.3	880.0	0.6	5.6	6.7	-98.6	4.9	*4.49	0.57	2.96	107.3
Ramal Mixquic Santa Catarina 6	26/06/2018		23.4	3964.3	*2652.7	2.2	3.0	7.6	-261.1	4.0	*1.64	*13.93	3.37	1.0
Panteón Civil 3	23/07/2018	30	21.4	2108.0	*1472.3	1.2	6.4	7.9	-24.4	0.0	*2.15	0.27	0.79	236.7
Ramal Tláhuac Neza 21	23/07/2018		20.2	804.0	575.3	0.4	5.3	7.5	129.6	0.0	0.19	0.57	0.61	19.3
Ramal Tláhuac Neza 24	23/07/2018		22.4	594.4	406.0	0.3	3.2	7.5	63.0	0.0	0.12	0.27	1.11	35.7
Santa Catarina 9	23/07/2018	55	21.8	3169.6	*2189.0	1.8	4.7	7.8	-143.9	*10.0	*6.40	5.17	2.88	187.0
Iztapalapa 1 (infl.)	24/07/2018	60	23.6	2264.7	*1512.3	1.2	5.0	7.6	-80.0	0.0	0.01	0.53	1.29	131.7
Granjas Estrella 1	24/07/2018	29	22.1	1211.4	832.7	0.6	5.5	7.5	142.4	0.0	*1.23	1.40	0.60	203.3
Santa Cruz Meyehualco	25/07/2018	72	23.1	2933.2	*1977.3	1.6	5.4	8.0	-137.5	0.0	*3.34	1.80	1.00	*433.3
Peñón 6	26/07/2018		23.8	849.2	565.0	0.4	1.9	8.1	-49.7	0.0	*0.94	0.37	0.51	27.7
Peñón 2 Nuevo	26/07/2018		24.8	806.3	525.0	0.4	2.0	8.0	-57.0	0.0	*1.46	0.37	0.56	6.3
Altavista	20/08/2018	38	17.7	430.9	325.3	0.2	7.3	7.7	167.2	0.0	0.01	2.30	0.32	12.0
Mariscal Sucre	20/08/2018	52	19.6	600.9	435.3	0.3	4.8	7.1	222.7	0.0	0.00	4.53	0.46	57.3
Miguel Alemán Nuevo	20/08/2018		21.9	354.5	245.0	0.2	4.4	7.5	478.7	0.0	0.00	1.23	0.63	10.3
Algarín	20/08/2018	36	25.2	215.5	140.0	0.1	3.2	7.8	242.5	0.0	0.00	0.33	0.81	0.0
Antonio Manuel. Anza	20/08/2018	50	21.7	238.0	165.0	0.1	4.8	7.6	248.7	0.0	0.00	0.57	0.37	1.0
Molino del Rey	21/08/2018		20.8	237.6	168.0	0.1	0.1	7.8	218.4	0.0	0.00	0.53	0.31	1.0
Saleciano	21/08/2018		26.6	833.8	526.7	0.4	4.6	7.3	228.4	0.0	0.01	0.60	0.41	7.0

Nombre del pozo	Fecha	Gasto (L/s)	T (°C)	Cond (µS/cm)	SDT (mg/L)	Sal (psu)	OD (mg/L)	pH	ORP (mV)	Turb (NTU)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
San Felipe Popotla	21/08/2018		24.5	513.3	337.0	0.3	5.2	7.7	152.7	0.0	0.01	0.87	0.51	14.7
Tetelipa	27/08/2018		16.7	226.8	174.7	0.1	7.2	7.3	214.1	0.5	0.00	1.13	0.18	1.3
Tacubaya 2	27/08/2018		20.2	337.7	241.3	0.2	6.9	7.8	263.4	0.0	0.00	2.33	0.21	21.0
Hogar y Seguridad	28/08/2018		24.3	1011.7	666.0	0.5	5.1	7.4	90.5	0.0	0.03	0.37	0.32	64.0
Petrolera	28/08/2018		24.4	800.6	526.7	0.4	6.0	6.9	248.9	0.0	0.01	0.20	0.36	10.3

*Valores que exceden los Límites Máximos Permisibles de la NOM-127-SSA1-1994. SDT: >1000; Turbidez: >5 NTU; NH₃-N: >0.5 mg/L; NO₃-N: >10 mg/L; SO₄²⁻: >400 mg/L; S.D.= sin datos.

Nota: Se resalta en un recuadro rojo a los 9 pozos de estudio que se encuentran en la Alcaldía Iztapalapa y están resaltados de color rosa los valores que exceden los Límites de la NOM-127, así como originalmente se marcan con un asterisco.

Tabla XII-4. Detección de bacterias indicadoras muestreadas en pozos de la CDMX durante junio-agosto de 2018 (Tabla 5).

Nombre del pozo	Fecha	CF	Escherichia coli	EF
		UFC/100 mL	UFC 100/mL	UFC 100/mL
Deportivo Durango	11/06/2018	--	--	--
Auxiliar Xotepingo 4-A	11/06/2018	--	--	--
Reyes Coyoacán	12/06/2018	--	--	--
Periférico 12	12/06/2018	--	--	--
Metro CU	12/06/2018	--	--	--
San Fernando	15/06/2018	--	--	--
FLACSO	18/06/2018	--	--	--
San Luis 19	19/06/2018	--	--	--
San Luis 9	19/06/2018	--	--	--
La Noria 1	20/06/2018	--	--	--
La Noria 2	20/06/2018	--	--	--
Reclusorio Sur 1	20/06/2018	--	--	--
S-6	20/06/2018	--	--	--
S-13 (infl.)	21/06/2018	--	--	--
Escudo Nacional 2 (infl.)	21/06/2018	--	--	--
Tecómitl 10	25/06/2018	+	--	--
Tecómitl 15	25/06/2018	--	--	--
Tecómitl 8 (RN)	25/06/2018	--	--	--
Tecómitl 21	26/06/2018	+	+	+
Ramal Mixquic Santa Catarina 6	26/06/2018	--	--	--
Panteón Civil 3	23/07/2018	--	--	--
Ramal Tláhuac Neza 21	23/07/2018	+	--	--
Ramal Tláhuac Neza 24	23/07/2018	--	--	--
Santa Catarina 9	23/07/2018	+	--	--
Iztapalapa 1 (infl.)	24/07/2018	--	--	--
Granjas Estrella 1	24/07/2018	--	--	--
Santa Cruz Meyehualco	25/07/2018	+	+	+
Peñón 6	26/07/2018	--	+	+
Peñón 2 Nuevo	26/07/2018	--	--	--
Altavista	20/08/2018	--	--	--
Mariscal Sucre	20/08/2018	--	--	--
Miguel Alemán Nuevo	20/08/2018	--	--	--
Algarín	20/08/2018	--	--	--
Antonio Manuel. Anza	20/08/2018	--	--	--
Molino del Rey	21/08/2018	--	--	--
Saleciano	21/08/2018	--	--	--
San Felipe Popotla	21/08/2018	--	--	--
Tetelpa	27/08/2018	--	--	--
Tacubaya 2	27/08/2018	--	--	--
Hogar y Seguridad	28/08/2018	--	--	--
Petrolera	28/08/2018	--	--	--

Presencia (+); Ausencia (--).

Nota: Se resalta en un recuadro rojo a los 9 pozos de estudio que se encuentran en la Alcaldía Iztapalapa y están resaltados de color rosa los organismos indicadores en los pozos en los que existe presencia.

Tabla XII-5. Parámetros de calidad del agua para [...] pozos de extracción de la [...] [Alcaldía Iztapalapa], las celdas marcadas en rojo son valores fuera de la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) (ANEXO III, Tabla 1, pág. 243)

Id	Delegación	Nombre del pozo SACMEX	Tipo flujo	Coordenada X	Coordenada Y	AÑO	pH (U pH)	Turbidez (UNT)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	N-amoniaco (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Coliformes fecales (col/100 mL)	Cloro residual libre (mg/L)	
218	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2003	7.8	4.5	68.1	334.8	0.47	0.1	0.00477	0.877	0.056	0.168	0.044	0.00059	0		
219	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2004	7.74	0.5	75.9	320.4	0.68	0.1	0.00534	0.822	0.028	0.052	0.019	0.00059	0	0	
220	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2005	7.6	0.67	72.3	306.64	0.69	0.1	0.00464	1.516	0.028	0.142	0.019	0.00091	0	0	
221	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2007	8.13	0.79		346.51	1.01	0.1	0.00461	0.826	0.031	0.068	0.019		0	0	
222	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2008	7.49	0.5		309.4	1.51	0.1	0.00517	0.871	0.031	0.052	0.019		0	0	
223	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2009	7.67	0.55	82.6	359.2	2.39	0.1	0.00808	0.862	0.031	0.052	0.019		0	0	
224	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2010	7.85	11.1	85.4	255.1	2.1	0.1	0.00932	0.7499	0.004	0.5	0.019	0.002	0	0	
225	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2011	7.65	0.5	87.3		1.96	0.1	0.00703	0.7483	0.004	0.052	0.019	0.002	0	0	
226	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2013	7.97	0.5			3.44	0.1	0.0093	0.8914	0.005	0.0313	0.03	0.01	0	0	
227	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2014	7.8	1.1	86.8		1.15	0.1							0		
228	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2015	7.8	0.5	79.6		3.31	0.1							0	0	
229	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2016	7.76	0.5	80.3	125	3.73	0.1							0	1.9	
230	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 1	Intermedio	490215	2136947	2017	7.77	0.5		310		0.1							0	0	
231	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2002	7.8	0.5	58.7	106.32	0.53	0.12	0.00929		0.056	0.052	0.045	0.00059			
232	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2003	7.88	1.8	63.3	126.28	0.6	0.1	0.00469	1.145	0.056	0.14	0.033	0.00059	0	0	
233	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2004	7.98	0.5	64.7	111.76	0.81	0.1	0.01342	1.112	0.028	0.128	0.019	0.00059	1	0	
234	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2005	7.78	0.5	65.7	101.92	1	0.1	0.01024	1.43	0.028	0.057	0.019	0.00059	0	0	
235	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2006	8.05	0.5	67.5	118.76	1.14	0.1	0.0096	1.42	0.028	0.055	0.019	0.00122	0		
236	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2007	8.1	0.5		143.46	0.94	0.1	0.00825	0.95	0.031	0.054	0.025		0	0	
237	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2008	7.79	0.5	62.3	143.84	1.04	0.1	0.0171	0.977	0.031	0.074	0.042		0	0	
238	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2009	7.72	0.5	64.9	127.32	2.07	0.1				0.052	0.049		0	0	
239	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2010	7.8	1.4	66.8	91.04	2.4	0.17	0.01965	0.8264	0.004	0.052	0.025	0.002	0	0	
240	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2011	7.7	0.5	64.3		2.22	0.1	0.0161	0.8306	0.004	0.052	0.024	0.0028	0	0	
241	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2012	7.51	0.5	74.3		2.44	0.11	0.0079	0.8716	0.005	0.003	0.0774	0.01	0	0	
242	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2013	7.87	0.5	71.4	158	2.06	0.1	0.0145	0.8873	0.005	0.03	0.0375	0.01	1	0	
243	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2014	7.79	0.5			3.19	0.1								0	0
244	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2015	7.69	0.91			3.54								1	0	0
245	Iztapalapa	POZO GRANJAS ESTRELLA 3	Intermedio	490025	2136317	2016	7.64	0.5	60.9	242	3.11	0.1				0.1	0.1		0	0	0

Id	Delegación	Nombre del pozo SACMEX	Tipo flujo	Coordenada X	Coordenada Y	AÑO	pH (U pH)	Turbidez (UNT)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	N-amoniaco (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Coliformes fecales (col/ 100 mL)	Cloro residual libre (mg/L)
293	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2001	7.9	0.13	254.1	48.54	1.22	0.1		0	0.056	0.018	0.005	0.00059		1.1
294	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2003			238.5							0.211	1.25		0	
295	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2004	7.84	10.5	232	102.88	0.52	1.01	0.00143	3.095	0.028	0.087	0.089	0.00143	0	0
296	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2005	8.22	2.17	260.1	65.89	0.45	0.88	0.00211	3.607	0.028	0.098	1.092	0.00215	0	2.2
297	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2006	7.81	15		82.04	0.48	0.59	0.00178	3.661	0.028	0.133	0.872	0.0016	0	
298	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2008	7.77	3.33	250.5	62.8	0.45	0.1	0.00176	4.124	0.031	0.194	0.797		0	
299	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2009	7.66	15.3	231.8	111.85	0.45	0.39				0.091	0.803		0	
300	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2012	7.78	14.1	242		0.5	0.1	0.005	3.674	0.005	0.1073	0.866	0.01	0	
301	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2013	7.97	15	202	368.42	1	0.1	0.005	3.256	0.005	0.1183	0.8074	0.01	0	
302	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2014	8.06	13	276		0.59	0.1							0	
303	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2015	7.76	18			0.4	1.11							0	
304	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2015	7.84	15.7	242		0.823					0.17	0.819		0	
305	Iztapalapa	P.P. IZTAPALAPA 1 (INFLUENTE)	Regional	489524	2140324	2016	6.92	3.2	220	190	0.73	1.81				0.213	0.421		1	0
557	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2001	8.1	0.56	237.1	93.56	0.65	3.09	0.00258		0.056	0.144	0.036	0.00197		
558	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2002	8.1	1.8	201.45	134.08	0.6	2.88	0.00334	2.313	0.056	0.077	0.123	0.00087		0
559	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2003	8.1	1.8	215.8	122.44	0.6	3.06	0.00354	2.247	0.056	0.195	0.123	0.00059		
560	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2004	8.21	0.5	243.9	126.52	0.59	3.45	0.0025	2.841	0.028	0.052	0.106	0.00059	0	0
561	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2005	8.03	0.5	178.7	159.12	0.51	2.22	0.00196	1.96	0.028	0.052	0.13		0	0
562	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2006	8.08	1.86	178.8	159.48	0.54	2.02	0.0029	1.719	0.028	0.103	0.181		0	0
563	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2007	8.44	1.67		191.84	0.48	2.83	0.00262	1.897	0.031	0.086	0.137		0	0
564	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2008	8.04	3.8	182	265.1	0.44	2.3	0.00455	1.796	0.031	0.102	0.125		0	0
565	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2009	7.96	2.76	175.1	185.1	0.39	2.59	0.00246	1.616	0.004	0.066	0.148	0.002	0	0
566	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2011	8.19	0.5	162		0.4	2.52	0.00532	1.699	0.004	0.137	0.174	0.0037	0	0
567	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2012	7.97	0.5	162		0.44	2.53	0.0051	1.744	0.005	0.04	0.1762	0.01	0	0
568	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2013	8.21	2.64	169	362.68	0.63	0.1	0.0119	1.669	0.005	0.1099	0.2173	0.01	0	0
569	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2014	7.85	1.3			0.4	0.1							0	
570	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2015	8.1	3.9	164		0.4	2.73							0	0
571	Iztapalapa	POZO PANTEON CIVIL 3	Regional	491735	2138704	2017	8.04	1.5	172.7	359	0.61	2.71	0.005	1.642	0.005	0.1193	0.2119	0.01	0	0

Id	Delegación	Nombre del pozo SACMEX	Tipo flujo	Coordenada X	Coordenada Y	AÑO	pH (U pH)	Turbidez (UNT)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	N-amoniaco (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Coliformes fecales (col/ 100 mL)	Cloro residual libre (mg/L)
622	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2003	8.31	1.8	46.6	13.09	0.2	1.24	0.00062	0.197	0.028	0.052	0.039	0.00059	0	0
623	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2006	8.37	0.5		10.86	0.19	1.45	0.00178	0.338	0.028	0.052	0.034	0.00059	0	0
624	Iztapalapa	POZO PEÑON 2	Intermedio	497228	2143217	2007	8.59	0.5		9.93	0.27	1.6	0.00062	0.422		0.052	0.036	0.00059	0	0
625	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2008	8.28	0.5	55.8	11.77	0.2	1.62	0.00062	0.376	0.031	0.052	0.049		0	0
626	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2009	8.45	0.5	62.3	11.35	0.32	1.15				0.052	0.036		0	3.5
627	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2010	8.19	0.7		13.19	0.23	0.84	0.00062	0.4259	0.004	0.052	0.047	0.002	0	1.1
628	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2011	8.29	0.5	69.1		0.24	1.48							0	0
629	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2012	8.34	0.5	69.6			0.1	0.005	0.4354	0.005	0.03	0.0444	0.01	0	0.3
630	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2013	8.38	0.5	72.2	9.7	1	0.1	0.005	0.3957	0.005	0.03	0.0466	0.01	0	0
631	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2014	8.32	0.5	73.1		0.4	0.1	0.005	0.4067	0.005	0.03	0.0463	0.01	0	0
632	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2015	8.25	0.5			0.4								0	0
633	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2016	8.4	0.5	70.2	14.8	0.41	1.55				0.1	0.1		0	0
634	Iztapalapa	POZO PEÑON 2 NUEVO	Intermedio	497228	2143217	2017	8.32	0.5	77.8	12.97	0.48	1.64							0	0
635	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2000	8.3	0.21	25.4	56.84	0.08	0.57			0.056	0.018	0.011			
636	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2001	8.3	6.24	30.4	59.4	0.1	0.54	0.00062		0.056	0.052	0.019	0.00059		0
637	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2002	8.2	0.4	29.3	63.58	0.1	0.56	0.00062	0.48	0.056	0.052	0.02	0.00059	0	0
638	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2003	8.34	1.8	32.1	73.54	0.11	0.54	0.00062	0.569	0.028	0.052	0.02	0.00059	0	0
639	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2004	8.54	1.8	32.4	73.7	0.1	0.68	0.00062		0.028	0.052	0.026		0	0
640	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2005	8.22	0.5	35.4	79.41	0.1	0.64	0.00062	0.441	0.028	0.052	0.019	0.00059	0	0
641	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2006	8.03	0.5		72.04	0.1	0.66	0.00062	0.495	0.028	0.052	0.019	0.00062	0	0
642	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2007	8.58	0.5		80.28	0.15	0.77	0.00062	0.504		0.052	0.019	0.00059	0	0
643	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2008	8.15	0.5	40.9	48.68	0.1	0.1	0.00062	0.484	0.031	0.052	0.019		0	0
644	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2009	8.21	0.5	45.8	75.84	0.13	0.49		0.4699	0.004	0.052	0.019	0.002	0	0
645	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2010	8.13	0.5		80	0.11	0.78	0.00062	0.5193	0.004	0.052	0.024	0.002	0	0
646	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2011	8.4	0.5	44.6		0.11	0.7							0	0
647	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2015	8.19	0.5			0.4								0	0
648	Iztapalapa	POZO PEÑON 8	Intermedio	496437	2142004	2016	8.34	0.5	44.1	139	0.4								0	0

Id	Delegación	Nombre del pozo SACMEX	Tipo flujo	Coordenada X	Coordenada Y	AÑO	pH (U pH)	Turbidez (UNT)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	N-amoniaco (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Coliformes fecales (col/ 100 mL)	Cloro residual libre (mg/L)	
979	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2002	7.9	0.58	51.4	46.94	0.29	0.2	0.00579	0.701	0.056	0.192	0.684	0.00059	0	0	
980	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2003	8.2	1.8	69.2	78.23	0.47	0.33								0	0
981	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2004	8.01	0.5	77.1	85.12	0.5	0.27		0.646				0.00059	0	0	
982	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2005	7.87	0.5	87.1	106.52	0.54	0.11	0.00736	1.009	0.028	0.262	1.62		0	0	
983	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2006	7.7	1.6		90.96	0.54	0.16	0.00792	0.903		0.193	1.31	0.00162	0	0	
984	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2007	8.07	0.7		91.2	0.48	0.33	0.0056	0.87	0.031	0.238	1.4		0	0	
985	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2008	7.76	0.93	95.2	67.08	0.49	0.2	0.00649		0.031	0.316	1.45		0	0	
986	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2009	7.8	0.57	69.3	28.39	0.32	0.27							0	0	
987	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2010	7.57	0.68	75.7		0.4	0.57	0.00602	0.6274	0.004	0.265	0.89	0.002	0	0	
988	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2011	8.08	0.5	80.3		0.5	0.1							0	0	
989	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2012	8.23	1.17	84.5		0.49	0.1	0.008	0.6712	0.005	0.2135	1.231	0.01	0	0	
990	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2013	7.87	0.72	66.7	107.5	1	0.1	0.005	0.6404	0.005	0.2224	1.038	0.01	0	0	
991	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2014	7.9	0.57	86.9		0.43	0.1							0	0	
992	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2015	7.98	1.4	76.7		0.41	0.54							0	0	
993	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2016	8.03	0.5	56.8	53	0.4		0.005	0.4657	0.005	0.1848	0.9035	0.01	0	0	
994	Iztapalapa	PC RAMAL TLAHUAC NEZA 5	Intermedio	491084	2134333	2017	7.98	0.5	42.4	24.2	0.4	0.29				0.139	0.742		0	0	
1315	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2003	8.47	1.9	176.4	131.65	1.9	6.72	0.00376		0.056	0.316	0.068	0.00553	0	0	
1316	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2004	9.06	24	184.1	217.39	2.86	8.45	0.00103	5.933	0.028	0.864	0.051	0.0017	0	0	
1317	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2005	8.32	36	164.6	248.73	2.14	7.47	0.00062	3.936	0.028	1.79	0.112	0.00384	0	0	
1318	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2006	8.31	11.3		91.4	1.37	7.5	0.00062	2.22	0.028	0.107	0.074	0.00059	0	0	
1319	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2007	8.75	75.6		140.08	3.4	6.43	0.00062	4.651	0.031	0.274	0.032		0	0	
1320	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2008	7.79	12	99.1	22.2	0.15	5.49	0.00062	1.38	0.031	0.336	0.152		0	0	
1321	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2009	7.92	9.07	115.4	29.25	0.72	4.18	0.00062	1.26	0.004	0.16	0.094	0.002	0	0	
1322	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2010	8.03	0.5		4	1.03	0.48							0	0	
1323	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2014	8.41	1	239		2.2	0.1							0	0	
1324	Iztapalapa	POZO SANTA CATARINA 9	Regional	493593	2134868	2017	8.02	9.4	194.3	385	3.93	7.17				0.118	0.164		0	0	

Id	Delegación	Nombre del pozo SACMEX	Tipo flujo	Coordenada X	Coordenada Y	AÑO	pH (U pH)	Turbidez (UNT)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	N-amoniacoal (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Coliformes fecales (col/ 100 mL)	Cloro residual libre (mg/L)
1325	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2003	8.2	1.8	176.3	542.2	0.91	3.48	0.00062	2.154	0.028	0.052	0.103	0.00538	0	0
1326	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2004	8.54	20.3	242.2	297.5	2.65	5.54	0.00062	3.514	0.028	0.203	0.047	0.0024	0	0
1327	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2005	8.12	0.73	147.6	517	0.73	1.71	0.00062	1.699	0.028	0.052	0.086	0.00033	0	0
1328	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2006	8.26	0.5	141	551.4	0.72	3.58	0.00062	1.937	0.028	0.054	0.089	0.00287	0	0
1329	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2006	8.17	0.54	135	497.44	0.62	3.14	0.00062	1.74	0.028	0.052	0.075	0.00123	0	0
1330	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2006	8.38	0.5		478	0.73	3.25	0.00062	1.81	0.028	0.052	0.089	0.00187	0	0
1331	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2006	8.12	0.5	151.5	524.4	0.75	3.48		1.587				0.00252	0	0
1332	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2007	8.01	21.8		494.16	1.03	2.13	0.00062	1.553		0.052	0.129	0.00059	390	0
1333	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2008	8.09	6.02	131.5	526	0.56	3.14	0.00062	1.498	0.031	0.052	0.084		0	0
1334	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2009	7.98	0.5	147.9	604.2	0.65	2.86	0.00062	0.9568	0.004	0.052	0.045	0.002	0	0
1335	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2011	8.13	1.22	122		0.62	3.41	0.00062	1.286	0.004	0.052	0.1	0.002	0	0
1336	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2012	8.07	0.91	141		0.59	0.1	0.005	1.679	0.005	0.0302	0.1037	0.01	0	0
1337	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2013	8.17	3.4	143	419.38	0.52	0.1	0.005	1.455	0.005	0.03	0.0951	0.01	0	0
1338	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2015	8.18	13.5	131		1.24					0.187	0.087		0	0
1339	Iztapalapa	P:P STA. CRUZ MEYEHUALCO (INFLUENTE)	Regional	497105	2138566	2016	8.1	3	155.9	623	0.4	3.61				0.1	0.1		0	0

Id	Delegación	Nombre del pozo SACMEX	Tipo flujo	Coordenada X	Coordenada Y	AÑO	pH (U pH)	Turbidez (UNT)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ - (mg/L)	N-amoniaco (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cr VI (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Coliformes fecales (col/ 100 mL)	Cloro residual libre (mg/L)
1495	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2000	7.9	0.11	48.2	11.23	0.3	0.1			0.056	0.018	0.159			
1496	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2001	7.8	0.13	50.1	9.97	0.26	0.1			0.056	0.018	0.046	0.00059		
1497	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2002	7.8	0.72	45.4	15.53	0.82	0.1	0.01058	1.242	0.056	0.052	0.059	0.00059	0	
1498	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2003	7.75	1.8	44.6	20.98	0.38	0.1	0.01084	1.204	0.056	0.052	0.044	0.00059	0	0
1499	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2004	7.83	36	74.8	6.79	0.1	0.1	0.01798	2.647	0.028	7.12	1.33	0.00184	0	0
1500	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2005	7.73	0.5	42	23.43	0.49	0.1	0.00702	0.566	0.028	0.052	0.019	0.00059	0	0
1501	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2006	7.88	0.5		20.02	0.44	0.1	0.00837	1.068	0.028	0.052	0.019	0.00098	0	0
1502	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2008	7.61	0.5	56	19.86	0.24	0.1	0.00817	1.238	0.031	0.052	0.019		0	0
1503	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2009	7.73	0.5	56.3	19.13	0.25	0.1	0.00732	1.117	0.004	0.052	0.019		0	0
1504	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2010	7.74	0.5	58.3	19.43	0.3	0.1				0.052	0.019		0	0
1505	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2011	7.69	0.5	58.5		0.32	0.1	0.0163	1.245	0.004	0.052	0.032	0.002	0	0
1506	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2012	7.77	0.5	62.1		0.35	0.1	0.0138		0.005	0.03	0.0487	0.01	0	0
1507	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2013	7.78	0.5	65.7	15.02	0.4	0.1	0.0177	1.714	0.005	0.03	0.0855	0.01	0	0
1508	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2014	7.68	0.5			0.4	0.1								0
1509	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2015	7.64	0.5			0.4								0	0
1510	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2016	7.7	1.5	68.5	20	0.4	0.1				0.1	0.1		0	0
1511	Iztapalapa	POZO UNIDAD MODELO 2	Intermedio	486794	2140945	2017	7.77	2.2	74.9	19.25	0.4	0.1	0.0164	1.589	0.005	0.0317	0.0531	0.01	0	0