



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL – AGUA

DESARROLLO DE MAPAS DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA EN SISTEMAS
DE ABASTECIMIENTO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING ESP LAURA ELENA MORENO RIVERA

TUTOR PRINCIPAL
M. EN C. MA. INÉS J. NAVARRO GONZÁLEZ
INSTITUTO DE INGENIERIA

COMITÉ TUTORAL
DRA. ANA ELISA SILVA MARTÍNEZ FACULTAD DE INGENIERIA
DRA. MA. ANTONIETA GÓMEZ BALANDRA INSTITUTO MEXICANO DE
TECNOLOGIA DEL AGUA
DRA. ALMA CONCEPCIÓN CHÁVEZ MEJÍA INSTITUTO DE INGENIERIA
DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ FACULTAD DE INGENIERIA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX. MARZO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido

| | |
|--|----|
| Figuras | 5 |
| Tablas | 7 |
| Resumen ejecutivo/Abstract..... | 8 |
| 1. Introducción..... | 10 |
| 1.1 Justificación..... | 10 |
| 1.2 Objetivo..... | 13 |
| 1.2.1 Objetivos específicos..... | 13 |
| 1.2.2 Metas..... | 14 |
| 1.3 Alcances y limitaciones..... | 14 |
| 2. Marco teórico..... | 15 |
| 2.1 Sistemas de abastecimiento de agua potable..... | 15 |
| 2.2 Mapas de riesgo..... | 16 |
| 2.3 Gestión del riesgo..... | 17 |
| 2.4 Planes de Seguridad del Agua..... | 18 |
| 2.4.1 Sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control..... | 19 |
| 2.4.2 Descripción del sistema de abastecimiento..... | 19 |
| 2.4.3 Identificación del riesgo..... | 20 |
| 2.4.3.1 Tipos de amenaza en los sistemas de abastecimiento de agua..... | 20 |
| 2.4.4 Caracterización y evaluación de los riesgos..... | 20 |
| 2.4.5 Casos de estudio de la gestión de riesgo de la calidad del agua en el mundo..... | 20 |
| 2.5 Calidad del agua..... | 26 |
| 2.5.1 Parámetros físicos..... | 27 |
| 2.5.2 Parámetros químicos..... | 27 |
| 2.5.3 Parámetros microbiológicos..... | 27 |
| 2.5.4 Monitoreo de la calidad del agua..... | 28 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.6 | Marco jurídico..... | 28 |
| 3. | Metodología..... | 31 |
| 3.1 | Recolección de datos | 31 |
| 3.2 | Organismo Operador | 32 |
| 3.3 | Descripción del sistema..... | 32 |
| 3.3.1 | Componentes del sistema de abastecimiento | 33 |
| 3.3.1.1 | Fuente de abastecimiento | 33 |
| 3.3.1.2 | Potabilización del agua..... | 34 |
| 3.3.1.3 | Almacenamiento | 34 |
| 3.3.1.4 | Distribución..... | 34 |
| 3.4 | Identificación de eventos de falla..... | 34 |
| 3.4.1 | Factores externos | 36 |
| 3.4.1.1 | Riesgo geológico | 36 |
| 3.4.1.2 | Hundimientos..... | 36 |
| 3.4.1.3 | Zonas sísmicas..... | 36 |
| 3.4.1.4 | Inundaciones | 37 |
| 3.4.1.5 | Tiraderos clandestinos..... | 37 |
| 3.4.1.6 | Grado de marginación urbana | 37 |
| 3.4.2 | Factores Internos | 37 |
| 3.4.2.1 | Tandeo..... | 38 |
| 3.4.2.2 | Fuente..... | 38 |
| 3.4.2.3 | Potabilización del agua..... | 38 |
| 3.4.2.4 | Almacenamiento | 38 |
| 3.4.2.5 | Distribución..... | 38 |
| 3.5 | Caracterización del riesgo..... | 39 |
| 3.5.1 | Matriz semicuantitativa de riesgo..... | 39 |
| 3.5.2 | Clasificación de los factores externos | 40 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.5.2.1 | Riesgo geológico | 40 |
| 3.5.2.2 | Hundimiento | 41 |
| 3.5.2.3 | Zonas sísmicas..... | 42 |
| 3.5.2.4 | Inundaciones | 42 |
| 3.5.2.5 | Tiraderos clandestinos..... | 43 |
| 3.5.2.6 | Grado de marginación urbana | 43 |
| 3.5.3 | Clasificación de los factores internos..... | 44 |
| 3.5.3.1 | Tandeo..... | 44 |
| 3.5.3.2 | Pozos | 44 |
| 3.5.3.3 | Potabilización del agua..... | 45 |
| 3.5.3.4 | Almacenamiento de agua..... | 47 |
| 3.5.3.5 | Distribución del agua | 47 |
| 3.6 | Desarrollo de mapas | 48 |
| 4. | Resultados..... | 54 |
| 4.1 | Iztapalapa..... | 54 |
| 4.1.1 | Organismo Operador..... | 55 |
| 4.1.2 | Esquemas generales de distribución del sistema de abastecimiento..... | 57 |
| 4.2 | Infraestructura hidráulica | 58 |
| 4.2.1 | Fuentes de abastecimiento..... | 59 |
| 4.2.2 | Potabilización del agua | 59 |
| 4.2.3 | Almacenamiento | 62 |
| 4.2.4 | Distribución | 62 |
| 4.3 | Identificación y clasificación de eventos de falla | 69 |
| 4.3.1 | Factores externos | 69 |
| 4.3.1.1 | Riesgo geológico | 69 |
| 4.3.1.2 | Hundimientos..... | 69 |
| 4.3.1.3 | Zonas sísmicas..... | 69 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.3.1.4 | Inundaciones | 70 |
| 4.3.1.5 | Tiraderos clandestinos..... | 71 |
| 4.3.1.6 | Grado de marginación..... | 71 |
| 4.3.2 | Factores internos..... | 78 |
| 4.3.2.1 | Pozos | 78 |
| 4.3.2.2 | Plantas potabilizadoras..... | 88 |
| 4.3.2.3 | Tanques de abastecimiento | 113 |
| 4.3.2.4 | Distribución..... | 113 |
| 4.3.2.5 | Colonias con tandeo frecuente | 120 |
| 4.4 | Caracterización del riesgo..... | 122 |
| 4.5 | Discusión de resultados..... | 126 |
| 5. | Conclusiones | 132 |
| 5.1 | Recomendaciones..... | 133 |
| | Referencias | 135 |
| | Anexos..... | 143 |
| | Anexo 1. Clasificación del riesgo interno por colonia..... | 144 |
| | Anexo 2. Clasificación del riesgo externos por colonia | 151 |
| | Anexo 3. Material y diámetro de la tubería por colonia..... | 159 |

Figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 2-1. Sistema hidráulico urbano (César, 1994)..... | 16 |
| Figura 3-1. Componentes principales del sistema de abastecimiento | 33 |
| Figura 3-2. Sobreposición de las capas de factores externos..... | 50 |
| Figura 3-3 Segmentos de la colonia Apatlaco..... | 51 |
| Figura 3-4 Clasificación de riesgo externo para la colonia Apatlaco | 51 |
| Figura 4-1. Esquemas generales de distribución del sistema de abastecimiento | 58 |
| Figura 4-2. Principales arreglos en las plantas potabilizadoras..... | 61 |
| Figura 4-3. Componentes generales del sistema de abastecimiento en Iztapalapa..... | 64 |
| Figura 4-4. Pozos en Iztapalapa..... | 65 |
| Figura 4-5. Plantas Potabilizadoras en Iztapalapa | 66 |
| Figura 4-6. Tanques de almacenamiento y rebombeo en Iztapalapa | 67 |
| Figura 4-7. Material y diámetro de la tubería | 68 |
| Figura 4-8 Riesgo geológico. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010 | 72 |
| Figura 4-9. Riesgo por hundimientos. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010..... | 73 |
| Figura 4-10. Zonas sísmicas. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010..... | 74 |
| Figura 4-11. Zonas de Inundación. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010 | 75 |
| Figura 4-12. Tiraderos clandestinos. Adaptación propia con datos de la SEDEMA, 2019..... | 76 |
| Figura 4-13 Grado de marginación urbana. Adaptación propia con datos del Gobierno de la Ciudad de México, 2010..... | 77 |
| Figura 4-14 Pozos en operación | 82 |
| Figura 4-15 Turbiedad en pozos..... | 83 |
| Figura 4-16 Color en pozos..... | 84 |
| Figura 4-17 Nitrógeno amoniacal en pozos..... | 85 |
| Figura 4-18 Hierro total en pozos | 86 |
| Figura 4-19 Manganeso en pozos..... | 87 |
| Figura 4-20 Turbiedad en influente de las potabilizadoras | 98 |
| Figura 4-21 Turbiedad en el efluente de las potabilizadoras | 99 |
| Figura 4-22 Eficiencia de remoción de turbiedad en las potabilizadoras | 100 |
| Figura 4-23 Color en el influente de las potabilizadoras | 101 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4-24 Color en el efluente de las potabilizadoras..... | 102 |
| Figura 4-25 Eficiencia de remoción de color en las potabilizadoras..... | 103 |
| Figura 4-26 Concentración de nitrógeno amoniacal en el influente de las potabilizadoras..... | 104 |
| Figura 4-27 Concentración de nitrógeno amoniacal en el efluente de las potabilizadoras..... | 105 |
| Figura 4-28 Eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal en potabilizadoras..... | 106 |
| Figura 4-29 Concentración de hierro total en el influente de las potabilizadoras..... | 107 |
| Figura 4-30 Concentración de hierro total en el efluente de las potabilizadoras..... | 108 |
| Figura 4-31 Eficiencia de remoción de hierro total en las potabilizadoras..... | 109 |
| Figura 4-32 Concentración de manganeso en el influente de las potabilizadoras..... | 110 |
| Figura 4-33 Concentración de manganeso en el efluente de las potabilizadoras..... | 111 |
| Figura 4-34 Eficiencia de remoción de manganeso en las potabilizadoras..... | 112 |
| Figura 4-35 a) Tubería en Iztapalapa..... | 115 |
| Figura 4-36 b) Tubería en Iztapalapa..... | 116 |
| Figura 4-37 c) Tubería en Iztapalapa..... | 117 |
| Figura 4-38 Material de la tubería en Iztapalapa..... | 118 |
| Figura 4-39 Material de la tubería en Iztapalapa..... | 119 |
| Figura 4-40 Colonias con tandeo..... | 121 |
| Figura 4-41. Caracterización del riesgo externo por colonia..... | 124 |
| Figura 4-42. Caracterización del riesgo interno por colonia..... | 125 |
| Figura 5-1. Zonas de mayor riesgo para el sistema..... | 130 |

Tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 2-1 Riesgos en las diferentes etapas del sistema | 2 |
| Tabla 2-2. Características generales de los casos de estudio..... | 21 |
| Tabla 2-3 Nivel del PSA en los casos de estudio. | 24 |
| Tabla 3-1 Puntaje asignado al riesgo geológico..... | 41 |
| Tabla 3-2 Puntaje asignado al riesgo por hundimiento..... | 41 |
| Tabla 3-3 Puntaje asignado al riesgo por sismicidad..... | 42 |
| Tabla 3-4 Puntaje asignado al riesgo por inundación..... | 42 |
| Tabla 3-5 Puntaje asignado al riesgo por presencia de tiraderos..... | 43 |
| Tabla 3-6 Puntaje asignado al grado de marginación urbana | 43 |
| Tabla 3-7 Puntaje asignado al riesgo por tandeo..... | 44 |
| Tabla 3-8. Ponderación de parámetros para pozos..... | 45 |
| Tabla 3-9 Puntaje asignado a la calidad del agua en los pozos..... | 45 |
| Tabla 3-10. Ponderación de parámetros para las potabilizadoras en el influente y efluente | 45 |
| Tabla 3-11. Puntaje asignado a la calidad del agua en el influente y efluente de las potabilizadoras | 46 |
| Tabla 3-12. Puntaje asignado a la eficiencia de remoción en las plantas potabilizadoras..... | 46 |
| Tabla 3-13. Puntaje asignado a las plantas potabilizadoras..... | 47 |
| Tabla 3-14 Puntaje asignado al diámetro de la tubería | 47 |
| Tabla 3-15 Puntaje asignado al material de la tubería..... | 48 |
| Tabla 0-1. Matriz semicuantitativa para la colonia Apatlaco | 52 |
| Tabla 4-1. Procesos, capacidad instalada y caudal medio tratado en las plantas potabilizadoras de Iztapalapa | 59 |
| Tabla 4-2 Calidad del agua en Pozos..... | 79 |
| Tabla 4-3 Parámetros en el influente de las plantas potabilizadoras | 89 |
| Tabla 4-4 Parámetros en el efluente de las plantas potabilizadoras..... | 92 |
| Tabla 4-5 Eficiencia de remoción en las plantas potabilizadoras | 95 |
| Tabla 4-6 Material y diámetro de la tubería por colonia | 159 |
| Tabla 4-7. Número de colonias en cada clasificación..... | 122 |
| Tabla 4-8. Colonias con la clasificación de riesgo Muy alto en Iztapalapa..... | 123 |

Resumen ejecutivo/Abstract

Iztapalapa es la alcaldía más poblada y la que más problemas presenta con respecto a recursos hídricos, iniciando por su ubicación, ya que se encuentra en la parte oriental de la ciudad y el Sistema Cutzamala, uno de los principales suministros ingresa por el poniente, la oferta de agua se compone, además, de abastecimientos subterráneos que se encuentran alrededor de la Sierra de Santa Catarina, sin embargo, estos no son suficientes para satisfacer la demanda (Sandoval, et al., 2016).

La infraestructura hidráulica de la Ciudad de México está concentrada en Iztapalapa, pese a esto, el suministro de agua a los puntos de consumo dentro de la alcaldía es intermitente y en la mayoría de los hogares es habitual que haya periodos de baja presión, adicionalmente la calidad del agua incumple las normas reglamentarias.

Este trabajo tiene como objetivo elaborar el procedimiento para presentar en mapas los riesgos asociados a parámetros de calidad del agua y a eventos peligrosos en la operación de un sistema de abastecimiento.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado una metodología para garantizar que el suministro de agua sea en cantidad y calidad adecuada. Para realizar un Plan de Seguridad del Agua (PSA) es necesario describir completa y detalladamente el sistema de abastecimiento, con ello se realiza la identificación de posibles fuentes de riesgo y eventos peligrosos que pueden afectar la cantidad y calidad del agua en el sistema, se realiza la evaluación de cada uno de los factores identificados y se proponen medidas de control. Los PSA son procedimientos iterativos adaptados a cada uno de los sistemas de abastecimiento.

La infraestructura hidráulica de Iztapalapa está compuesta por aproximadamente 70 pozos en operación con un caudal aproximado de 60 l/s, 27 plantas potabilizadoras, cerca de 40 tanques de almacenamiento y rebombeo y poco más de 800 km de tubería.

A pesar de la carencia de información y datos, los factores de riesgo que han sido incluidos en este trabajo de investigación han sido divididos en dos categorías, internos y externos, los

internos abarcan las complicaciones generales que puedan presentarse dentro del sistema, y los externos aquellas condiciones del medio donde ha sido desarrollado el sistema de abastecimiento que puedan afectarlo.

Una vez identificados los riesgos externos e internos, estos se clasificaron individualmente y se asignó un puntaje dependiendo de la magnitud de afectación, posteriormente se realizó el análisis conjunto a través de la suma del puntaje de cada clasificación del riesgo.

Con la caracterización del riesgo se realizó la representación gráfica mediante los mapas de riesgo que componen este trabajo.

Los riesgos geológicos y hundimientos son los factores externos que más afectan el sistema de abastecimiento donde la Sierra de Santa Catarina y Peñón del Marqués son las más influenciadas por este fenómeno. La operación de las plantas potabilizadoras en la alcaldía es el principal elemento de los factores internos, donde se observa que los procesos de potabilización están operando de manera inadecuada al no remover los parámetros e incluso aumentarlos.

De las 337 colonias de Iztapalapa 17 presentan un riesgo muy alto en los factores externos y 18 colonias presentan un riesgo muy alto en los factores internos.

1. Introducción

1.1 Justificación

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos (Merkova, 2017).

Debido al creciente aumento en la demanda de agua para satisfacer las necesidades de la humanidad, el estrés hídrico al que están sometidas las regiones que abastecen de agua a la población mundial ha aumentado en la última década (ONU, 2014).

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos (ONU, 2014).

Sin embargo, en México, el suministro de agua a los puntos de consumo es intermitente. En algunas zonas, los hogares pasan de forma sistemática ocho horas o más sin servicio, y en la mayoría de ellos son habitual que haya periodos de baja presión. Con relación a la calidad del agua, ésta incumple sistemáticamente las normas reglamentarias. Los sistemas de abastecimiento actualmente se caracterizan por la antigüedad de la infraestructura de tratamiento, tuberías del sistema de distribución con índices de pérdidas de hasta el 40% (CONAGUA, 2014), y la puesta fuera de servicio de depósitos de almacenamiento en muy mal estado, afectando a la presión de operación y a la capacidad de satisfacer la demanda, además de que en algunas zonas el abastecimiento de agua se realiza mediante pipas con una higiene deficiente. En todos los casos se necesitan mejoras de las instalaciones para lograr la calidad de agua potable, continuidad y equidad en el suministro deseados (Bartram, et al., 2009). Se estima que en la Zona Metropolitana del Valle de México existe un déficit de agua de unos $8 \text{ m}^3/\text{s}$ (que abastecería poco más de 4.6 millones de personas con una dotación de 150 litros/habitante/día); tomando en consideración las proyecciones de crecimiento poblacional en la región para el año 2030, la demanda futura

alcanzaría los 83 m³/s para satisfacer la demanda de poco más de 23 millones de personas (González, et al., 2013).

La problemática del agua en el Valle de México, aunque ha sido enfrentada primordialmente mediante soluciones de ingeniería hidráulica, tiene su origen en una serie de eventos históricos y patrones de crecimiento demográfico y de desarrollo urbano que es importante conocer. La larga historia como centro urbano de la porción norte del valle (historia que se inicia con la capital azteca, Tenochtitlan, en el siglo XIV), da fe de su poder de atracción. La rápida urbanización de la ciudad, la expansión constante de las áreas comerciales y la formación y concentración de barrios de artesanos traían consigo problemas de insalubridad y afectación ambiental.

La hidrología de esta región incluye un excelente sistema acuífero y un buen número de manantiales. Sin embargo, la especial localización física de la Ciudad de México ubicada en un valle alto dentro de una cuenca cerrada naturalmente por montañas representa un reto singular para el suministro de agua a una población urbana de gran magnitud. No existen fuentes importantes de agua superficial cercanas susceptibles de ser aprovechadas junto con la fuente local del subsuelo. Por si fuera poco, la elevación del valle provoca que la importación de agua de cuencas externas sea una alternativa costosa. Además, la unidad arcillosa del subsuelo bajo el área metropolitana tiende a consolidarse debido al peso de los edificios, lo cual provoca un asentamiento diferencial que, combinado con la sobreexplotación de los acuíferos subyacentes, tiene por efecto el hundimiento del suelo de la región.

El servicio de agua en el Valle de México se caracteriza por la alta presión que se ejerce sobre los recursos hídricos existentes, debido a la baja disponibilidad de agua natural, las extracciones de agua por encima de los niveles de recarga y una población en crecimiento. Además, el valle se ve afectado por inundaciones recurrentes debido a sus patrones de lluvia y al hecho de que es una cuenca endorreica (Banco Mundial, 2013).

La falta de agua genera problemas que impactan en múltiples aspectos de la vida diaria; en efecto, su escasez provoca problemas de salud en las personas, dificulta las labores domésticas y la tarea de obtenerla requiere de gran cantidad de trabajo familiar. La persistencia de rezagos en el servicio de abastecimiento de agua potable y saneamiento obedece en parte a las dificultades que existen al trabajar en terrenos montañosos y a los elevados costos de las obras de infraestructura en esos lugares (SEDESOL, 2014). Si a esto se le adhiere un ordenamiento urbano poco

planeado y la existencia de asentamientos irregulares este problema tiende a acentuarse en lugares como la Ciudad de México y su Zona Metropolitana.

En este sentido, Iztapalapa es la alcaldía más poblada con 1,827,868 habitantes (INEGI, 2010) y la que más problemas presenta con respecto a recursos hídricos, iniciando por su ubicación, ya que se encuentra en la parte oriental de la ciudad y uno de los principales suministros de la ciudad (sistema Cutzamala) ingresa por el poniente, además, de abastecimientos subterráneos que se encuentran alrededor de la Sierra de Santa Catarina, sin embargo, estos no son suficientes para satisfacer la demanda (Sandoval, et al., 2016). que considerando una dotación de 150 litros/habitante/día para la alcaldía debería ocupar $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de los aproximadamente 35 m^3 que se abastecen en la Ciudad de México.

En cuanto a la infraestructura de distribución de agua potable, la red pública está situada en la mayor parte del área de la alcaldía de Iztapalapa, sin embargo, esto no garantiza que la dotación de agua esté disponible para todos con un flujo continuo, suficiente, equitativo y de calidad (Salazar, 2014). Evidencias reportadas de la desequilibrada distribución del agua potable indican que cerca de 650 mil personas en 2014 sufrieron del desabasto de agua, sin embargo, para el 2018 ya se reportaban alrededor de 800 mil (Sandoval, et al., 2016; Fuentes, 2018). Este incremento es asociado al crecimiento poblacional, así como asentamientos irregulares en sitios que no cuentan con infraestructura hidráulica básica.

La política de tandeo o suministro intermitente es parte del proceso para manejar el déficit de agua, la alcaldía más afectada de acuerdo a la población es Iztapalapa con casi dos millones de habitantes (Montero, et al., 2009), de 1988 a 2013, se reporta que el tandeo, en términos de población afectada, se había incrementado en un 1,000% (Machorro, et al., 2013). Además, se reporta ineficiencia por parte de la infraestructura hidráulica para abastecer la cantidad de recurso hídrico demandado, donde se incrementaron las pérdidas físicas (fugas de agua en la red de abastecimiento), las cuales pasaron de un intervalo de 17-20% a uno de entre 54-70% (Machorro, et al., 2013).

Iztapalapa es la alcaldía que presenta la mayor densidad poblacional y área de la Ciudad de México, la complejidad de la infraestructura y operación del sistema de abastecimiento de la alcaldía es vasta, por ello es necesaria la implementación de una metodología que permita la

identificación de los eventos de falla en el sistema y la gestión adecuada en la distribución del recurso para satisfacer las necesidades hídricas de la población.

En otro orden de ideas, la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para desarrollar Planes de Seguridad del Agua establece que el marco de seguridad para el agua de consumo requiere de lo siguiente: establecer metas de protección de la salud basados en la evaluación de peligros, evaluar el sistema de abastecimiento del agua desde su origen hasta que esta es entregada al usuario; lo cual incluye garantizar la inocuidad y calidad del agua de consumo, y establecer planes de vigilancia, monitoreo y medidas de mitigación frente a amenazas y emergencias relacionadas con el agua para consumo humano, articulados a un sistema de vigilancia integral del agua (Grupo UNI Barranquilla, 2015).

La integración, análisis y síntesis de la información de la alcaldía de Iztapalapa, a través de las herramientas que proporcionan los planes de seguridad del agua permite a los entes de control y responsables del suministro del abastecimiento de agua consolidar la información necesaria para dar respuesta a las acciones de monitoreo y vigilancia de la calidad del agua que permitan estructurar la presentación gráfica mediante mapas de riesgo (Grupo UNI Barranquilla, 2015).

La construcción de mapas de riesgo es una herramienta útil para la identificación de indicadores apropiados para la cuantificación del peligro existente en sistemas de abastecimiento de agua potable.

1.2 Objetivo

Elaborar el procedimiento para presentar en mapas los riesgos asociados a parámetros de calidad del agua potable y a eventos peligrosos en la operación de un sistema de abastecimiento.

1.2.1 Objetivos específicos

- Elaborar la descripción actualizada del sistema de abastecimiento de la alcaldía de Iztapalapa, para ubicar zonas estratégicas dentro de la red para el análisis de riesgo.
- Establecer el procedimiento para identificar los peligros o posibles eventos peligrosos.
- Evaluar los riesgos identificados mediante una escala pertinente a la red de abastecimiento.
- Presentar de manera gráfica la evaluación del riesgo asociado a calidad del agua.

1.2.2 Metas

- Establecer los criterios para caracterizar el riesgo asociados a la calidad del agua y a los eventos peligrosos dentro del sistema de abastecimiento de agua potable en la alcaldía de Iztapalapa.
- Establecer el proceso de elaboración de mapas de riesgo para sistemas de abastecimiento municipales.

1.3 Alcances y limitaciones

La descripción del sistema de abastecimiento corresponderá a los datos proporcionados por la alcaldía de Iztapalapa y el sistema operador. Además, será complementada mediante tesis, informes, artículos y demás publicaciones referentes al caso de aplicación.

Para la identificación de los riesgos se realizará una revisión de casos de éxito en la implementación de planes de seguridad del agua para determinar los riesgos que pueden presentarse en el área de estudio. Mediante el análisis en componentes estratégicos se determinarán los riesgos que pueden presentarse en el sistema de distribución.

La evaluación de los eventos peligrosos se realizará mediante la adaptación de la matriz semicuantitativa del Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua propuesto por la Organización Mundial de la Salud para ponderar los factores de riesgo influyentes con base en la asignación de un puntaje.

Se usará el sistema de información geográfica QGis en su versión 3.8.1 para elaborar los mapas de riesgo que mostrarán las categorías del riesgo basados en mapas con las características de los eventos peligrosos.

2. Marco teórico

La mayoría de las enfermedades de origen hídrico son causadas por la contaminación del agua que se da debido a la intrusión de contaminantes químicos en el sistema de abastecimiento, además de las concentraciones de microorganismos patógenos contenidas en la misma (Secretaría Distrital de Salud, 2014).

Los planes de seguridad del agua han sido desarrollados con el objetivo de brindar una herramienta que permita realizar la evaluación de los riesgos y gestión de los mismos asociados a la calidad del agua en cada una de las etapas del sistema de abastecimiento (Bartram, et al., 2009).

El desarrollo de mapas de riesgo asiste a los planes de seguridad del agua, ya que proporciona la identificación de los puntos de riesgo dentro del sistema y prioriza áreas para controlar la seguridad del agua dentro del sistema (Godfrey & Howard, 2005).

2.1 Sistemas de abastecimiento de agua potable

Un sistema de abastecimiento se define como el conjunto de elementos cuyo fin es el de abastecer y satisfacer las necesidades demandadas por la población en cuestión de recursos hídricos. Se observa que las partes que constituyen un sistema hidráulico urbano son las siguientes: fuente, captación, conducción, tratamiento para la potabilización, tanques de regulación, distribución, red de alcantarillado, tratamiento de agua residual para finalizar con una disposición adecuada del agua (César, 1994) como se observa en la Figura 2-1. Cada uno de estos componentes tiene una función específica y está formado por un número de elementos o componentes. Además de los componentes físicos, se requiere de una infraestructura capaz de operar y mantener los componentes físicos adecuadamente para que cumplan funciones específicas (Morales & González, 2001).

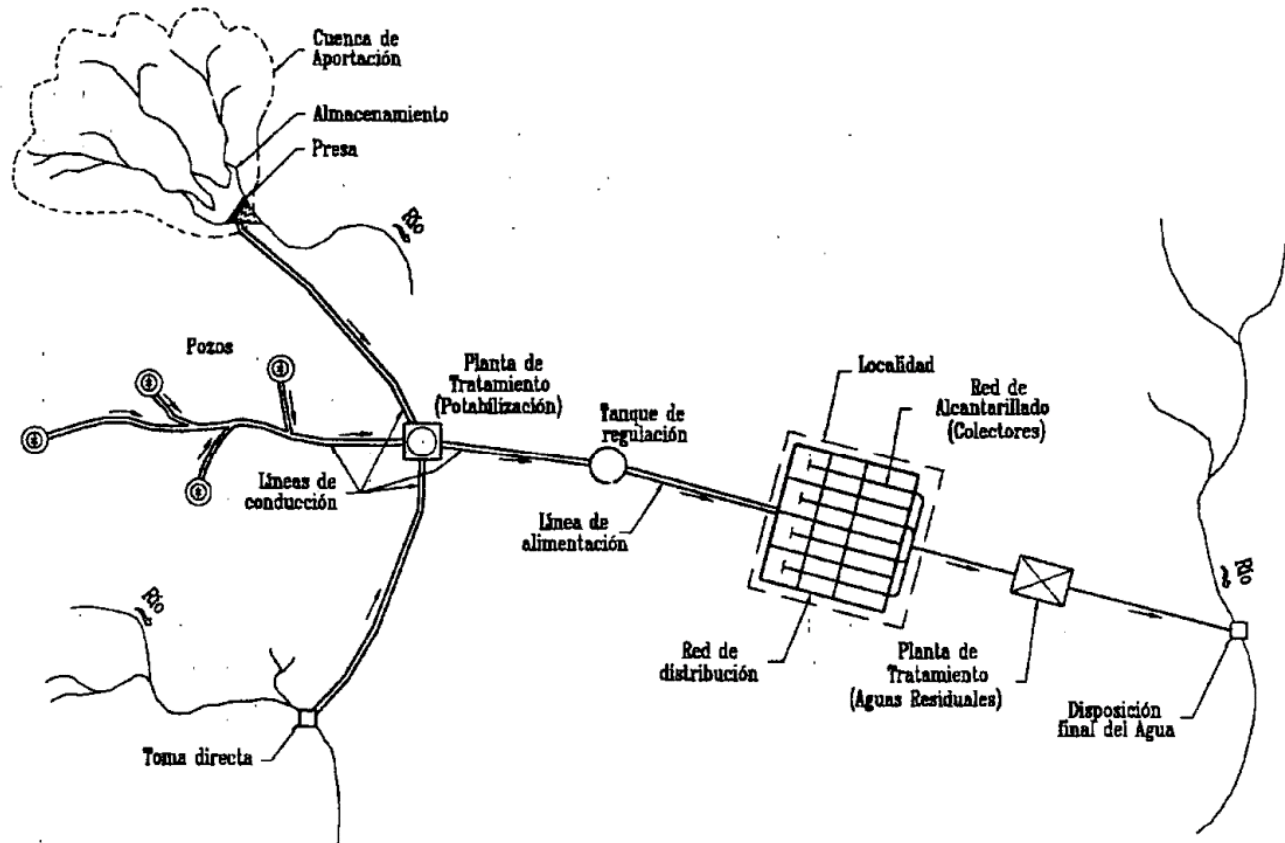


Figura 2-1. Sistema hidráulico urbano (César, 1994)

El sistema de distribución de agua potable es el componente más importante del sistema de suministro, este comprende desde los procesos de captación hasta la entrega del servicio al consumidor (Vairavamoorthy, et al., 2006).

2.2 Mapas de riesgo

Un mapa de riesgos de calidad de agua es un instrumento de inspección, vigilancia y control de los riesgos asociados a las condiciones en la calidad del agua desde las fuentes que abastecen los sistemas de suministro de agua para el consumo humano. Siendo así, la elaboración de un mapa de riesgo deberá tener en cuenta la identificación de factores de riesgo y el análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas en el sistema de abastecimiento que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana (Taborda & Venegas, 2016).

La evaluación del riesgo no es una tarea fácil ya que existen distintas variables que contribuyen al riesgo y no siempre está disponible esta información. Para el desarrollo de los mapas de riesgo es fundamental la identificación de indicadores apropiados para la cuantificación del riesgo y

herramientas que relacionen la vulnerabilidad del sistema de agua (Godfrey & Howard, 2005). En el contexto de la calidad del agua, los peligros son definidos como la posibilidad o amenaza de peligro del ambiente donde se localiza la infraestructura hidráulica (Godfrey, et al., 2003).

Los criterios para la elaboración de los mapas de riesgo pueden tener distintas fuentes de referencia, como lo son el conocimiento de los organismos operadores y los mapas existentes de vulnerabilidad y riesgo (Godfrey, et al., 2003).

2.3 Gestión del riesgo

Es la capacidad de manejar una posible amenaza que pueda ocurrir, mediante una propuesta o una serie de actividades planificadas ya sea para prevenir, mitigar o manejar una situación de riesgo.

El riesgo es una medida de la magnitud de los daños frente a una situación peligrosa. El riesgo se mide asumiendo la vulnerabilidad frente a cada tipo de peligro. El peligro es una situación que produce un nivel de amenaza a la vida, la salud, la propiedad o el medio ambiente.

Para garantizar la seguridad de un sistema de abastecimiento de manera eficaz, es necesario aplicar un planteamiento integral de evaluación de riesgos y la gestión de estos. Es importante adoptar una metodología para determinar los peligros y eventos peligrosos que puedan afectar a la seguridad del sistema de abastecimiento de agua, e identificar los riesgos significativos que no se encuentren bajo control que deben mitigarse. Además, es necesario evaluar el riesgo asociado a cada uno de los peligros y eventos peligrosos (Bartram, et al., 2009).

Puede haber una tendencia a limitar la determinación del riesgo a los peligros químicos y microbiológicos, ya que son importantes en lo que respecta al cumplimiento de las normas sobre calidad del agua. Sin embargo, deben tenerse en cuenta otros aspectos que pueden contribuir al deterioro de la calidad del agua como daños en la infraestructura, daños por inundación, reservas en la fuente de abastecimiento, reservas secundarias de agua, personal capacitado, conocimiento del sistema de distribución, entre otros; los cuales deben someterse también a evaluación de riesgos.

Es importante que el organismo operador del servicio de abastecimiento de agua documente claramente y comprenda todos los riesgos.

2.4 Planes de Seguridad del Agua

Una de las tareas más importantes para un sistema de abastecimiento de agua es garantizar la calidad del agua potable (Bosshart, 2003). La forma más eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo humano es aplicando un planteamiento integral de evaluación de los riesgos y gestión de los riesgos que abarque todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor (OMS, 2004), este tipo de planteamiento se le denomina Plan de Seguridad del Agua (PSA) y han sido desarrollados para organizar y sistematizar las prácticas de gestión de agua de consumo humano.

Los objetivos principales de un PSA para garantizar la aplicación de prácticas adecuadas en el abastecimiento de agua de consumo humano son la reducción al mínimo de la contaminación del agua en la fuente, la reducción o eliminación de los contaminantes mediante operaciones de tratamiento y la prevención de la contaminación durante el almacenamiento, la distribución y la manipulación del agua de consumo humano (OMS, 2006).

Un PSA comprende tres componentes fundamentales (Godfrey & Howard, 2005; Ministry of Health Jamaica, 2007):

- Evaluación del sistema
- Monitoreo operativo eficaz
- Gestión

Se basa en muchos de los principios y conceptos aplicados en otros sistemas de gestión de riesgos, en particular en el sistema de barreras múltiples y en el Análisis de peligros y puntos críticos de control, mejor conocido como HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP, por sus siglas en inglés).

Un plan de seguridad del agua puede ayudar a comprender la gestión del riesgo pues tiene como objetivo mejorar la calidad del agua potable mediante la optimización de (OPS-Guyana, 2009):

- Control de contaminación en la fuente de agua
- La eliminación, reducción o inactivación de contaminantes durante los procesos de tratamiento

- La prevención de la re-contaminación durante la distribución, almacenamiento y manipulación.

2.4.1 Sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control

El sistema de análisis de peligros y de puntos de control (HACCP) permite identificar peligros específicos y medidas para su control, desarrollado inicialmente con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos. En las guías de la OMS este sistema es utilizado ya que el agua potable es vista como un producto alimentario. Además, es un instrumento para evaluar los peligros y establecer medidas de control en las componentes del sistema de abastecimiento, que se centran en la prevención en lugar de sólo analizar la calidad del agua que se entrega al usuario. Este sistema se aplica en toda la cadena de producción (desde la fuente de abastecimiento hasta el usuario quien es el consumidor final), su aplicación debe basarse en pruebas científicas de peligros para la salud humana.

Si se identifica un peligro en una fase en la que el control es necesario para mantener la inocuidad, y no existe ninguna medida de control que pueda adoptarse en esa fase o en cualquier otra, el producto o el proceso deberá modificarse en esa fase, o en cualquier fase anterior o posterior, para incluir una medida de control.

Para cada punto crítico de control, deberán especificarse y validarse, si es posible, límites críticos. En determinados casos, para una determinada fase, se elaborará más de un límite crítico. En el caso de los sistemas de abastecimiento los límites críticos de control básicos serán los establecidos como límites máximos permisibles en la normativa nacional o en guías internacionales.

2.4.2 Descripción del sistema de abastecimiento

La gestión eficaz del sistema de abastecimiento de agua de consumo humano exige un conocimiento completo del sistema, de la diversidad y magnitud de los peligros que pueden existir, y de la capacidad de los procesos e infraestructura existentes para abordar los riesgos existentes o potenciales de mayor incidencia en el servicio de abastecimiento (OMS, 2006).

Para la descripción del sistema deben incluirse las normas sobre calidad del agua, la información referente a la fuente de abastecimiento, información acerca de la infraestructura del sistema, además de la información sobre el tratamiento del agua y determinar los usuarios y usos del agua. Debe contener también la disponibilidad de personal capacitado (Godfrey & Howard, 2005).

2.4.3 Identificación del riesgo

El interés por los riesgos para la salud ha existido a lo largo de toda la historia, pero durante los últimos decenios ese interés no sólo se ha intensificado, sino que ha comenzado a incluir muchas perspectivas nuevas. El campo del análisis de riesgos ha crecido rápidamente, pasando a centrarse en la definición, cuantificación y caracterización de las amenazas para la salud humana y para el medio ambiente; este conjunto de actividades es lo que en términos generales se conoce como evaluación de riesgos (OMS, 2002).

El riesgo puede denotar una probabilidad, un factor que aumenta la probabilidad de un resultado adverso, una consecuencia o puede denotar una adversidad o amenaza potencial (Slovic, 1986). En este trabajo, al riesgo con consecuencias de mayor gravedad y probabilidad se le asigna un puntaje mayor, y si en algún elemento de la infraestructura o área se combinan los factores el riesgo aumentará dependiendo de la magnitud de cada uno.

Es necesario determinar los posibles peligros de tipo biológico, físico y químico asociados con cada etapa del sistema de abastecimiento que puedan afectar la seguridad del agua, además de los peligros y eventos peligrosos que puedan contaminar el agua, comprometer su seguridad o irrumpir el abastecimiento.

Se deben determinar los peligros asociados a eventos peligrosos que podrían producirse, como las fallas del sistema. La inspección visual puede revelar peligros que no se habrían detectado únicamente mediante el análisis de la documentación.

2.4.3.1 Tipos de amenaza en los sistemas de abastecimiento de agua

En los sistemas de abastecimientos de agua la amenaza, según su origen, se puede clasificar en natural o producida por el hombre, que a su vez puede ser inherente a la operación y al mantenimiento o ajena a estos, según Morales & González (2001). Los huracanes y sismos son ejemplos de una amenaza natural.

Los huracanes son grandes depresiones tropicales caracterizadas por fuertes tormentas y vientos con velocidades que exceden 32 m/s (115 km/h), y que pueden alcanzar hasta 300 km/h (Morales & González, 2001). Estos fuertes temporales, cuando son en menor grado, se denominan ciclones. Generalmente, las destrucciones ocasionadas por los huracanes en los sistemas de agua potable se pueden asociar a la destrucción total o parcial de la infraestructura hidráulica y contaminación del agua en fuentes superficiales.

México es un país con alto riesgo sísmico, estos fenómenos originan que haya déficit en el suministro de agua potable, ya que se generan rupturas en la tubería disminuyendo la cantidad que se abastece y permitiendo la entrada a agentes biológicos que contaminan el agua.

La identificación de peligros o eventos peligrosos también pueden sectorizarse dependiendo del elemento o parte del sistema hidráulico en el que se encuentren: captación, potabilización, distribución y consumidor. En la

Tabla 2-1 se presentan las amenazas reportadas en diferentes casos de implementación de un PSA (Grupo UNI Barranquilla, 2015; Iriburo, et al., 2013; Ministry of Health Jamaica, 2007; Bosshart, 2003; Mälzer, et al., 2010; Morales & González, 2001) y en las diferentes etapas del sistema de abastecimiento.

Tabla 2-1 Amenazas y riesgos potenciales en diferentes etapas de un sistema de abastecimiento. Adaptación propia.

| Amenazas y riesgos potenciales en un sistema de abastecimiento | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|--------------------------------|---|
| Fuente | | | | Tratamiento | Almacenamiento | Distribución | |
| Superficial | Subterránea | Equipos de bombeo | | Planta potabilizadora | Tanque | Tubería | |
| Destrucción total o parcial de obras de captación | Fugas en gasolineras (contaminación de hidrocarburos) | Variaciones en la energía eléctrica | Pérdidas de equipo por contacto con el agua | Falla de equipos en las operaciones unitarias de tratamiento | Tapas de tanques en mal estado | Envejecimiento de la tubería | Ruptura por exposición en pasos de ríos |
| Azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos | Pastoreo y actividad agrícola en áreas de infiltración | Paros en la energía eléctrica | Fugas | Falta de mantenimiento preventivo a los equipos y a las unidades de tratamiento | Ingreso de contaminantes por ventilación | Golpe de ariete | Red ampliada de manera desordenada |
| Cambio del cauce del río | Fosas sépticas en el sitio | Inexistencia de equipos de reserva | Inundación | Construcción inadecuada de unidades de tratamiento | Tapas de registros en las válvulas en mal estado | Agresividad del medio | Inadecuada periodicidad en la inspección para detectar fugas |
| Acceso público a la zona de la toma de agua | Desechos domésticos en la toma | Deficiencias en las instalaciones eléctricas | Las bombas no siempre están selladas | Operación inadecuada de los procesos de tratamiento | Fisuras en los tanques | Presión de bombeo insuficiente | Conexiones innecesarias que permiten el ingreso de la contaminación |
| Defecación en la zona de la toma | Tiraderos municipales cercanos a la extracción | Falta de automatización de los equipos | Fugas dentro de los niveles subterráneos | Insuficiencia para absorber los gastos generados por los insumos | No existe monitoreo de fugas | Poco mantenimiento preventivo | Accesorios no empacotados higiénicamente |
| Presencia de descargas de agua residual dentro de la cuenca | Cementerios cercanos a la zona de extracción | Inexistencia de piezas de repuesto | Equipos de bombeo no equipados para prevenir | Los procedimientos de admisión e higiene no son adecuados | No existe limpieza después de las reparaciones | Nulo mantenimiento | Inexistencia de puntos de recloración |

| Amenazas y riesgos potenciales en un sistema de abastecimiento | | | | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Fuente | | | | Tratamiento | Almacenamiento | Distribución | |
| Superficial | Subterránea | Equipos de bombeo | | Planta potabilizadora | Tanque | Tubería | |
| | | | el retorno del flujo | | | | |
| Propagación de estiércol | Pozos sin galería filtrante | Operadores sin capacitación | No hay suficiente carga en el bombeo | Ausencia y/o insuficiencia de la desinfección | Contaminación por pérdidas de presión | Deficiencia en el sello de las uniones | Cruce con tuberías de alcantarillado |
| Actividad agrícola-ganadera en la cuenca | | Envejecimiento de equipos | | Defecación al aire libre por los trabajadores o personas en general | Falta de mantenimiento preventivo | Fisuras producidas en la tubería por un mal transporte | Formación de biopelículas |
| | | | | | Problemas de azolve | Falta de recubrimiento | |
| | | | | | Resuspensión de azolve | | |

2.4.4 Caracterización y evaluación de los riesgos

La evaluación de los riesgos al ambiente surgió en los últimos años a raíz de los estudios realizados en el campo medioambiental, y los pasos que generalmente entraña el proceso de evaluación de los riesgos ambientales pueden adaptarse y aplicarse más concretamente al análisis de los riesgos sanitarios (OMS, 2002).

Para evaluar los peligros es necesario considerar acontecimientos e información del pasado, además de pronósticos basados en la información y conocimiento del servicio de abastecimiento de agua.

El riesgo asociado a cada peligro puede describirse determinando la probabilidad de que se produzca y evaluando la gravedad de las consecuencias en caso de producirse (Bartram, et al., 2009). Deben considerarse efectos organolépticos, de continuidad y suficiencia del suministro, pero la consideración más importante es el efecto que se tiene en la salud pública. El objetivo es diferenciar los riesgos significativos y riesgos menos significativos.

Los riesgos deben definirse detalladamente a través de la puntuación en una matriz de riesgo. Existe la posibilidad de pasar por alto peligros y eventos peligrosos nuevos, dado que la evaluación de riesgos proporciona una imagen “congelada en el tiempo” del sistema.

Además, existe incertidumbre en la evaluación de riesgos debido a la ausencia de datos, y el conocimiento deficiente de actividades de la cadena de suministro de agua o de su contribución relativa al riesgo generado por el peligro o evento peligroso.

2.4.5 Casos de estudio de la gestión de riesgo de la calidad del agua en el mundo

Los PSA pueden ser de complejidad variable, en función de la situación. En muchos casos, serán bastante sencillos, y se centrarán en los peligros fundamentales determinados para el sistema en cuestión.

La metodología de los PSA constituye un poderoso instrumento que permite a los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento de agua gestionar el abastecimiento en condiciones seguras. Experiencias internacionales han demostrado los beneficios de implementarlos como estrategia para garantizar la calidad del agua potable y la protección de la salud pública (Pérez, et al., 2009), por lo que en muchas ciudades del mundo estos ya se han aplicado y en la Tabla 2-2 se observan las características generales documentadas para 15 ciudades.

Tabla 2-2. Características generales de los casos de estudio. Creación propia.

| Casos de estudio | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|--|--|---|-------------------------------|------------------------------------|
| Ciudad | País | Encargado de la calidad del agua | Fuente | Tratamiento agua potable | Número de consumidores | Referencia |
| Chandpur | Bangladesh | Departamento de Ingeniería de Salud Pública, el Departamento de Medio Ambiente y Normas de Bangladesh y el Testing Institute | Pozos, captación de agua de lluvia | Filtración, desinfección | 5,056 | (OMS, 2011) |
| Linden | Guyana | Guyana Water Incorporated | Río Demerara y río Dakoura, acuífero costero | Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración | 40,000 | (OPS-Guyana, 2009) |
| Kampala | Uganda | Corporación de Agua y Alcantarillado Nacional / Ondeo Servicios Uganda | Lago Victoria | Procesos convencionales | 700,000 | (Godfrey, et al., 2003) |
| Victoria | Australia | Aguas de Melbourne | Cuenca | Filtración, desinfección (Cloro y UV) | 3,500,000 | (Melbourne Water, 2003) |
| Spanish town | Jamaica | Comisión nacional del agua | Río Cobre / Fuentes subterráneas | Desarenador, filtración y desinfección | 140,000 | (Ministry of Health Jamaica, 2007) |

| Casos de estudio | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---|------------------------------|---|-------------------------------|------------------------------|
| Ciudad | País | Encargado de la calidad del agua | Fuente | Tratamiento agua potable | Número de consumidores | Referencia |
| Balamna | Bután | Ministerio de Salud / Ministerio de Obras Públicas | Superficial | Filtración, desinfección | 2,000 a 4,000 | (OMS, 2011) |
| Amarapuri | Nepal | Comité de Usuarios de Amarapuri | Superficial | Sedimentación, filtración, cloración | 9,286 | (OMS, 2015) |
| Salta | Argentina | Compañía Salteña de Agua y Saneamiento S.A. (CoSAySA) | Superficial / subterránea | Filtración, decantación, cloración | 500,000 | (Gatto, et al., 2011) |
| Mortara | Italia | ASMare S.r.l. | Subterránea | Preoxidación, biofiltración, mezcla con carbón granular activado | 15,500 | (Sorlini, et al., 2017) |
| Tierra Blanca de Cartago | Costa Rica | ASADA de Tierra Blanca | Superficial | No cuentan con tratamiento | 6,272 | (Mora, et al., 2011) |
| Nagpur | India | Orange City Water | Subterránea | Desinfección | 3844 | (OMS, 2014) |
| Cali | Colombia | SAAP de Cali | Superficial | Cloración | 2,500,000 | (Amézquita, et al., 2014) |

| Casos de estudio | | | | | | |
|------------------|----------------|---|--|---|------------------------|---------------------------|
| Ciudad | País | Encargado de la calidad del agua | Fuente | Tratamiento agua potable | Número de consumidores | Referencia |
| Flanders | Bélgica | Intermunicipal Water Company of Veurne-Ambach / Aquafin | Subterránea / Reúso indirecto de agua residual | Infiltración de agua residual al acuífero después de un tratamiento dual de membranas, microfiltración y desalinización con ósmosis inversa | 5,000 - 10,000 | (Dewettink, et al., 2001) |
| Zurich | Suiza | SVGGM / SSIGE | Superficial | Cloración, preozonación, filtración, ozonación, filtración con carbón activado y filtración lenta | 30,000 | (Bosshart, 2003) |
| Dolores | Uruguay | Gerencia de Agua Potable, Obras Sanitarias del Estado | Superficial | Tratamiento convencional. Carbón activado, filtración con membrana | 15,753 | (Iriburo, et al., 2012) |

En la Tabla 2-3 se observa el nivel en que se encuentra cada PSA, es decir, qué procesos de la Guía para el desarrollo de los PSA han sido cubiertos en los distintos Sistemas de abastecimiento.

Tabla 2-3 Nivel del PSA en los casos de estudio. Creación propia.

| Ciudad | País | Año | Nivel PSA |
|--------------------------|-------------------|------------|--|
| Kampala | Uganda | 2003 | Revisión del PSA |
| Melbourne | Australia | 2003 | Verificación de las medidas de control |
| Amarapuri | Nepal | 2013 | Verificación de las medidas de control |
| Zurich | Suiza | 2003 | Verificación de las medidas de control |
| Linden | Guyana | 2009 | Verificación de las medidas de control |
| Spanish town | Jamaica | 2006 | Propuesta de medidas de control |
| Mortara | Italia | 2017 | Propuesta de medidas de control |
| Nagpur | India | 2013 | Aplicación de medidas de control |
| Dolores | Uruguay | 2012 | Aplicación de medidas de control |
| Chandpur | Bangladesh | 2011 | Análisis de riesgo microbiológico |
| Balamna | Bután | 2011 | Análisis de riesgo |
| Salta | Argentina | 2011 | Análisis de riesgo |
| Tierra Blanca de Cartago | Costa Rica | 2011 | Análisis de riesgo |
| Cali | Colombia | 2014 | Análisis de riesgo |
| Flanders | Bélgica | 2001 | Análisis de riesgo |

De la Tabla 2-3, se observa que Kampala, Uganda es el sistema de abastecimiento con mayor avance en cuanto a la implementación de planes de seguridad del agua, mientras que Linden, Melbourne, Amarapuri y Zurich, la bibliografía consultada indica que se encuentran en el mismo nivel verificando las medidas de control; sin embargo, la validación se está haciendo de manera distinta basada en los factores de riesgo que más afectan la calidad y/o cantidad en el suministro.

Mortora, Nagpur y Dolores se encuentran en la etapa de aplicación de las medidas de control identificadas para disminuir el riesgo. Los tres casos son proyectos prototipo en los países respectivos, y con el desarrollo de los PSA en los sistemas de abastecimiento locales están logrando replicar las experiencias en otros sistemas de abastecimiento del país.

Chandpur, Balamna, Salta y Tierra Blanca de Cartago son los sistemas con menor avance, ya que en la revisión bibliográfica se observa que el análisis de riesgo se ha realizado de distinta manera, se han incluido parámetros básicos para el análisis de riesgo como lo son el olor y la turbiedad, y se han tomado medidas de prevención básicas como la cloración del agua.

Con la revisión de los casos de aplicación de los PSA se observa que, como beneficios, se presenta una disminución de las enfermedades gastrointestinales pues se tiene un mayor control de la contaminación microbiológica como en Chandpur, Amarapuri y Balamna, existe una mejora en la calidad de agua potable y se incrementa la eficiencia en la producción siendo Spanish Town y Salta ejemplos de estos aprendizajes. Además, se evalúa el riesgo asociado a eventos extraordinarios, como huracanes y sequías, y se asocia el riesgo a componentes que no son controlados mediante una rutina de monitoreo (es el caso de Mortara y Kampala). También se han desarrollado estrategias de manejo de la seguridad del agua a través de los PSA y se ha incrementado la conciencia de uso y manejo del agua potable en el consumidor logrando una mayor aceptación del PSA en la población. La incorporación de normatividad en el aseguramiento de la calidad del agua ha sido otro de los beneficios resultante de la implementación de los PSA como en Kampala, Uganda.

Sin embargo, existen dificultades típicas en la implementación de los PSA tales como sistemas de monitoreo inapropiados, ausencia de recursos económicos para el financiamiento de la implementación del PSA (Chanpur, Melbourne) y la limitada experiencia y conocimiento de los operadores (Amarapuri, Chandpur, Spanish Town y Nagpur). La dificultad en la evaluación de todos los posibles riesgos y la ausencia de normas para la calidad de agua son otras de las

limitantes en el desarrollo del PSA. Sin mencionar que no siempre se tiene cantidad y calidad suficiente en información para un buen desarrollo de PSA.

Dentro de la revisión de los casos existen algunas series de actividades que pueden ser de interés para la implementación de un PSA, ya que automatizan la recopilación de información para detectar los posibles eventos riesgosos, tal es el caso de la Ciudad Dolores en Uruguay donde Iriburo, et al., en 2012, reportan el desarrollo un software para la mejora de la gestión de los datos generados en las operaciones unitarias de las plantas potabilizadoras, en este se ingresan los datos de análisis de calidad del agua, indicando los límites de alerta y límites críticos para distintas variables, y las condiciones de operación en los puntos de control del proceso (metodología HACCP), así como controles operativos tales como la preparación de reactivos y aforos de equipos dosificadores, al final se incluye la generación de reportes y consultas mediante la gestión de datos.

Otra de las actividades también reportadas en la revisión es la modelación hidráulica (Iriburo, et al., 2012) con softwares como EPANET en el cual se simulan parámetros hidráulicos y de calidad en sistemas de transporte y distribución de agua. Este software es una herramienta de gestión apropiada para la identificación y caracterización de los riesgos en la redes de distribución.

Dentro de los reportes y trabajos realizados para Uganda, se retoma para esta investigación la matriz de riesgo propuesta para la evaluación del riesgo, ya que dentro de esta se categorizan los riesgos asociados al ambiente y a la fuente, se evalúa la vulnerabilidad del sistema y se considera la capacidad de respuesta de la población que es abastecida. Estas tres categorías se subdividen en varias características dando lugar a un mejor análisis (Godfrey, et al., 2003).

2.5 Calidad del agua

La calidad del agua es un componente determinante para la salud y la calidad de vida de la población. En las últimas décadas ha habido una creciente preocupación por la calidad del agua debido a su relación con la ocurrencia de diversas enfermedades emergentes y reemergentes, principalmente en países en desarrollo (Guzman B., et al., 2016).

Los impactos ambientales y sanitarios a la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento tienen repercusión en la salud de las personas, por ello las medidas de control destinadas a mejorar la

calidad del agua de consumo humano proporcionan beneficios significativos en la disminución de enfermedades (Organización Mundial de la Salud, 2006).

La calidad del agua es un elemento fundamental para la salud y calidad de vida de las personas, sin embargo, el agua cruda en su mayoría no se encuentra en condiciones óptimas de calidad, ya que contiene sustancias ajenas, las cuales varían en los componentes del agua dependiendo de las características del medio en que se halle. La calidad del agua cruda es determinada de acuerdo con las características físicas, químicas y microbiológicas (Instituto Nacional de Salud, 2013).

2.5.1 Parámetros físicos

Estos pueden modificar el aspecto del agua. Los cambios en el aspecto, olor y sabor del agua de un sistema de abastecimiento, con respecto a las características organolépticas aceptables, pueden señalar cambios en la calidad del agua cruda (sin tratar) de la fuente o deficiencias en las operaciones de tratamiento, y deben investigarse. Los parámetros físicos de mayor importancia son: turbiedad, color aparente, conductividad y pH (Programa de Servicios Agrícolas provinciales, 2010).

Si no se tiene el control en las unidades de tratamiento, el exceder los límites permitidos de los parámetros físicos, puede generar la desconfianza y rechazo por parte del consumidor.

2.5.2 Parámetros químicos

Los componentes químicos pueden producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados, pocos componentes químicos del agua pueden ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única. Para definir la calidad del agua, debe considerarse si el agua de estudio ha recibido vertimientos por actividades industriales ya que estas pueden generar contaminación como la presencia de metales pesados tóxicos para los humanos como arsénico, plomo, mercurio y cromo. La actividad agrícola contamina cuando emplea fertilizantes que son arrastrados hacia las fuentes superficiales de agua, especialmente nitratos y nitritos. Además, el uso inadecuado de plaguicidas contribuye a contaminar el agua con sustancias tóxicas para los humanos.

2.5.3 Parámetros microbiológicos

Los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales. Los excrementos pueden ser fuente de patógenos, como bacterias, virus, protozoos, helmintos y otros organismos. Los patógenos fecales son los que

más preocupan a la hora de fijar metas de protección de la salud relativas a la inocuidad microbiana (Instituto Nacional de Salud, 2013).

2.5.4 Monitoreo de la calidad del agua

La gestión de la calidad del agua requiere contar con un programa efectivo de monitoreo. El monitoreo del agua presenta problemas, con frecuencia encontrados en los países en desarrollo, por ejemplo: la deficiente calidad de los datos, los problemas de financiamiento y el diseño de los muestreos, que en general se dirigen más a la descripción que a la prevención, control y restauración. En México, el monitoreo de la calidad del agua de acuerdo con lo estipulado en las leyes y normas existentes se fundamenta en las características físicas y químicas, principalmente, y en este aspecto es relativamente completo.

2.6 Marco jurídico

La sociedad requiere cierta calidad del agua para llevar a cabo actividades económicas que generan bienestar y beneficios.

En México, el marco jurídico de la gestión del agua se basa en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Aguas Nacionales, otras leyes federales y sus correspondientes estatales, diversos reglamentos, Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX), además se cuenta con el Programa Nacional Hídrico y otros planes regionales (CONAGUA, 2008).

Dentro de la constitución existen tres artículos que se refieren al agua: el Artículo 4 reconoce el derecho humano al agua; el Artículo 27, señala que los recursos hídricos son propiedad de la nación y el Artículo 115, donde se establece que los municipios son responsables de la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Las principales leyes que reglamentan el uso y la calidad del agua son las siguientes:

Ley de Aguas Nacionales (LAN) publicada en 1992 y su reglamento en 1994, ambos fueron actualizados en 2004. Hay tres cambios fundamentales: disminución de las atribuciones de la Comisión Nacional del Agua, descentralización en la gestión a través de los consejos de cuenca y aplicación de un servicio profesional de carrera (Mazari, et al., 2005).

Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, ley fiscal que se actualiza y publica cada año; define las cuotas de los derechos de uso y de descargas a los cuerpos de agua. Menciona los lineamientos de calidad del agua de acuerdo con su uso.

Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA). Promulgada en 1988, pero modificada en 1996 y 2007, da los criterios para el “aprovechamiento sustentable” (artículos 88 a 97) y para la “prevención y control de la contaminación del agua y los ecosistemas acuáticos” (artículos 118 a 133).

Los aspectos sanitarios que aseguran una buena calidad del agua potable para consumo humano están comprendidos en la Ley General de Salud y en su reglamento en materia de actividades, establecimientos, productos y servicios Título Tercero.

Con respecto al agua de uso y consumo humano existen varias normas 1) la NOM-014-SSA1-1993 (DOF, 1994), la cual se refiere al procedimiento sanitario que se debe llevar a cabo para muestrear agua de uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento públicos y privados, incluyendo aspectos bacteriológicos y fisicoquímicos, así como criterios de manejo, preservación y transporte de muestras. 2) La NOM-012-SSA1-1993 (DOF, 1994), la cual fue modificada en el 2000 y señala los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para asegurar la integridad del agua mediante aspectos complementarios a la definición de la calidad potable, 3) la NOM-179-SSA1-1998, establece los requisitos que debe aplicar la autoridad para vigilar la calidad del agua (DOF, 2001), además de la frecuencia de monitoreo, determina los parámetros empleados para considerar si un cuerpo de agua es apto o no como fuente de suministro. 4) Los límites máximos permisibles de calidad de agua potable se encuentran en la NOM-127-SSA1-1994, modificada en el 2000, donde además establece tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización (DOF, 2001). 5) Dentro de la NOM-230-SSA1-2002 se establecen los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano, así como los procedimientos sanitarios para su muestreo (DOF, 2003).

En México, la optimización de los recursos destinados al mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua es escasa, y la calidad del agua entregada al consumidor no siempre cumple los parámetros establecidos en la normativa mexicana. El desarrollo de un PSA para una

alcaldía con la complejidad de Iztapalapa reduce el tiempo de respuesta ante la emergencia y prioriza el área de atención.

3. Metodología

Este trabajo se basa en la aplicación de la metodología para el desarrollo de Planes de Seguridad del Agua propuesta por la Organización Mundial de la Salud (Bartram, et al., 2009), en la alcaldía de Iztapalapa, pues es la zona que presenta más conflictos con respecto al acceso y distribución de los recursos hídricos. Además, es la alcaldía con mayor densidad poblacional y ocupa el mayor porcentaje de área con respecto a la Ciudad de México.

Para evaluar el riesgo, se realiza la adaptación de la matriz semicuantitativa de riesgo propuesta por Bartram, et al., en 2009 dentro de la guía, debido a que fue insuficiente la información y registros que se obtuvieron del sistema de abastecimiento de la alcaldía de Iztapalapa. Además, se incorpora la matriz propuesta por Godfrey, et al., en 2003 en Uganda, para construir una matriz que involucra el riesgo externo que se presenta en la alcaldía y el riesgo interno que es asociado a la infraestructura del sistema de abastecimiento.

El riesgo externo que se incluye en la matriz contempla problemas que se presentan con frecuencia dentro de la alcaldía, como lo es el riesgo geológico, las zonas con riesgo de hundimiento diferencial, tiraderos clandestinos e inundaciones. Para el análisis del riesgo interno se consideran factores que se presentan dentro del sistema de abastecimiento de agua y en la infraestructura.

3.1 Recolección de datos

El trabajo presentado es descriptivo y analítico por lo que la información ha sido proporcionada por entidades gubernamentales y obtenida de bases de datos de libre acceso. Además, se ha usado información disponible en informes de investigación provenientes de entidades académicas.

Los datos recolectados han sido complementados con entrevistas y visitas de campo. La información obtenida de las instituciones dedicadas a la identificación de peligro es categorizada con base en los criterios de análisis de riesgo propuestos para la evaluación del riesgo en la alcaldía a aplicarse.

Para la realización del análisis del riesgo externo se consultaron organizaciones públicas y privadas para la categorización y ubicación de las zonas con mayor riesgo, dentro de los datos necesarios para realizar el análisis del riesgo interno, fue necesario tener información acerca de la calidad del agua, se hicieron mediciones de nitrógeno amoniacal, hierro, manganeso, color y turbiedad que son los parámetros con mayor incidencia y que sobrepasan los límites máximos permisibles en los pozos y potabilizadoras.

3.2 Organismo Operador

La realización de un Plan de Seguridad del Agua contempla la creación de un equipo de trabajo multidisciplinario encargado de la implementación y vigilancia de este, sin embargo, por la naturaleza de este proyecto sólo se incluyen las actividades que realiza el organismo operador encargado del abastecimiento de agua en la alcaldía que es el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).

3.3 Descripción del sistema

La descripción del sistema de abastecimiento es una de las principales partes que componen un PSA (Bartram, et al., 2009), el perfil del sistema de abastecimiento se basa en información obtenida de los informes, bases de datos libres e información proporcionada en entrevistas y visitas a instalaciones del organismo encargado del abastecimiento, entidades gubernamentales y académicas.

Cada sistema de abastecimiento cuenta con características particulares, es por lo que cada sistema se detalla de manera independiente y los constituyentes del sistema deben documentarse a lo largo del proceso de elaboración del PSA (Iriburo, et al., 2012) (las componentes del sistema se encuentran en el capítulo de resultados).

La descripción incluye aspectos relevantes de la infraestructura y las condiciones del medio en el cual fue desarrollado el sistema de abastecimiento para identificar las zonas de riesgo o posibles eventos peligrosos que pueden afectar el sistema de abastecimiento (Godfrey & Howard, 2005).

Dentro de la descripción se incluyen referencias a documentos con información geográfica y posibles fuentes de riesgo.

Dentro de la descripción del medio, es importante mostrar la ubicación geográfica del área estudiada, información demográfica, la población que es abastecida y beneficiada por la infraestructura primaria y el área que es suministrada. Para ello, se ha revisado el Plan de Desarrollo Urbano para la alcaldía de Iztapalapa y los datos oficiales que proporciona la administración actual, documentando con ello los datos básicos.

La realización de un esquema simplificado es la principal herramienta de la descripción del sistema pues facilita la identificación de eventos de falla en el sitio debido a que la metodología de elaboración de los PSA está basada en los sistemas multibarreras. El diagrama preparado identifica el flujo de agua a través de las componentes físicas del sistema y sus variantes.

Lo anterior da origen a la conceptualización de una serie de mapas temáticos donde se muestra:

- La localización de la infraestructura hidráulica del sistema, posición geográfica de los pozos, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento, plantas de rebombeo y la red de distribución con tubería de distintos diámetros.
- Áreas de interés debido a la -presencia de factores de riesgo

3.3.1 Componentes del sistema de abastecimiento

El sistema se divide principalmente en cuatro componentes: fuente de abastecimiento en su mayoría subterránea, procesos para la potabilización del agua, almacenamiento y distribución. Cada uno de estos con características particulares para cumplir con sus objetivos.

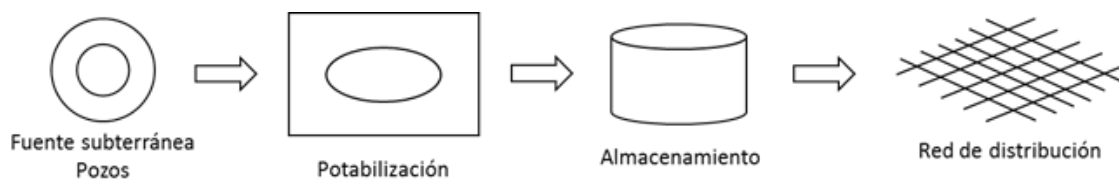


Figura 3-1. Componentes principales del sistema de abastecimiento

3.3.1.1 Fuente de abastecimiento

Para detallar la fuente de abastecimiento, subterránea o superficial, es necesario contar con la información del lugar de extracción, considerando la capacidad instalada y la disponibilidad de la propia fuente en relación con la demanda, desarrollos en el área de captación que puedan afectar la calidad y parámetros de calidad en los pozos. Es importante la descripción del sistema de drenaje y alcantarillado que se encuentre cerca de la ubicación de los elementos pertenecientes a la fuente.

3.3.1.2 Potabilización del agua

Los procesos de tratamiento para potabilización se detallan tomando en cuenta las operaciones de tratamiento. La disponibilidad de personal capacitado para la operación y mantenimiento de las unidades de tratamiento y normativa sobre calidad son datos importantes también. Se documenta la capacidad instalada y el caudal medio tratado. Se debe realizar la descripción de las sustancias y materiales utilizados en los procesos de potabilización.

3.3.1.3 Almacenamiento

La descripción de los tanques de almacenamiento considera el número de tanques para dotar el servicio de abastecimiento, el volumen de estos, el área y población a la que abastecen del recurso, material en contacto con el agua y problemas de diseño y mantenimiento. El almacenamiento se divide en dos, los tanques usados para la distribución y los tanques usados para el rebombeo.

3.3.1.4 Distribución

Dentro de la descripción de la red de distribución se especifica la extensión y diámetro de la tubería y el material de la tubería; el área y población que es abastecida con camiones cisterna y el volumen de estos. El monitoreo de parámetros de calidad a lo largo de la distribución es importante. Debe considerarse la población y área afectada por el problema del tandeo.

Debido a la que la red de distribución de agua suele estar bajo suelo, se presta una mayor atención a la presencia de fracturas por la facilidad con la que pueden ingresar contaminantes, como los microbiológicos.

3.4 Identificación de eventos de falla

La identificación de peligros es el proceso de reunir y evaluar la información sobre amenazas y condiciones que dan lugar a su presencia, para después decidir cuáles son los peligros más significativos para la seguridad del agua (URSEA, 2018). Una vez descrito el sistema de abastecimiento se realiza la identificación de fallas relacionadas a eventos externos e internos del sistema de abastecimiento que puedan afectar la calidad del agua.

Para la identificación de los eventos de falla se consideran los eventos externos que pueden afectar la infraestructura del sistema de estudio.

Dentro de los eventos externos se consideran condiciones propias del área de estudio, como las zonas sísmicas, el riesgo geológico y las zonas de inundación, y aquellas propiciadas por el comportamiento humano, como son las zonas influenciadas por tiraderos clandestinos y áreas de hundimiento, por citar algunos ejemplos característicos de la alcaldía de Iztapalapa.

Se incluye el índice de marginación social para las colonias de la alcaldía de Iztapalapa, que también es un factor relacionado con la evaluación de riesgo pues asocia la vulnerabilidad de la población ante las fallas que pueda presentar el sistema de abastecimiento en cantidad y calidad.

Para la identificación de los eventos internos se consideran las características de las componentes del sistema.

Dentro del análisis de la componente fuente se incluye el análisis de los pozos, ya que son la principal fuente de abastecimiento, para estos se consideran los parámetros: turbiedad, color, nitrógeno amoniacal, hierro y manganeso, otra fuente de abastecimiento es el sistema Cutzamala.

Para las plantas potabilizadoras se toman en cuenta los parámetros en el influente y efluente: turbiedad, color, nitrógeno amoniacal, hierro y manganeso y la eficiencia de remoción de estos parámetros.

Para la evaluación del almacenamiento deberán considerarse las características de volumen, dirección de flujo y población abastecida. El diámetro y el material de la tubería son las características que se toman en cuenta para el análisis de riesgo en la distribución.

El problema de tandeo que se presenta frecuentemente en la alcaldía es un factor importante para considerar en la gestión del riesgo por lo que se incluye en los factores internos.

Una de las actividades para determinar eventos de falla es observar los reportes de incidentes en el sistema y generar probabilidades de falla a través de los registros históricos. Por la complejidad del sistema debido a su magnitud y distintas rutas del agua, las visitas al sistema se deben realizar a componentes estratégicos en la red, los cuales deben cumplir con la característica de tener una mayor documentación sobre el subsistema. Sin embargo, en el sistema de abastecimiento en la alcaldía no existen registros preparados para la toma de decisiones. Se sabe que los eventos de falla y los reportes de incidentes están documentados en diferentes bitácoras, dependiendo de la sección del sistema donde ocurre, sin embargo, esa información está dispersa y esos datos no se encuentran sistematizados, por lo tanto, no se pueden establecer frecuencias de falla.

3.4.1 Factores externos

Se han considerado como factores externos aquellas situaciones de riesgo que pueden llegar a presentarse en el medio en el que fue construido el sistema y que puedan afectar la seguridad del agua, ya sea alterando la calidad o la cantidad suministrada. Los hundimientos diferenciales ocasionados por la extracción excesiva del agua en el acuífero, el riesgo geológico debido a las fracturas presentes en el área que ocupa la alcaldía, el riesgo sísmico asociado a la velocidad de respuesta del suelo del área y las áreas de hundimiento, características declaradas por la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil, son los factores incluidos en el análisis.

Los tiraderos clandestinos ubicados en la alcaldía de Iztapalapa son numerosos y debido a la generación de lixiviados y acumulación de contaminantes potenciales para el suministro de agua también han sido considerados como factores externos.

La capacidad de respuesta ante una falla derivada de algún evento peligroso está vinculada con el grado de marginación urbana por lo que se incluye en el análisis de los factores externos.

3.4.1.1 *Riesgo geológico*

Los fenómenos geológicos son aquellos que están relacionados con la actividad interna de la tierra y que tienen que ver con la transformación de la superficie terrestre (Terracón Ingeniería, 2011). Las infiltraciones que se generan debido al riesgo geológico pueden presentar afectaciones mayores en la calidad del agua.

El riesgo geológico presente en la alcaldía de Iztapalapa se debe principalmente por una serie de fracturas geológicas que atraviesan transversalmente el área que comprende la alcaldía. La Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil ha hecho estudios del comportamiento sísmico y esa es la información que se presenta en la identificación de fallas.

3.4.1.2 *Hundimientos*

Los hundimientos diferenciales son deformaciones geológicas que pueden causar fracturas en la tubería y desequilibrio en los sistemas, dentro de la alcaldía se han monitoreado éstos debido al antecedente histórico de hundimientos en la ciudad por la sobreexplotación del acuífero.

3.4.1.3 *Zonas sísmicas*

Una mayor velocidad de propagación de una onda sísmica tiene una mayor probabilidad de generar fracturas y fugas por rompimiento en la red de distribución. El daño producido por un sismo en tuberías enterradas o líneas de conducción se divide en dos tipos principales de fallas:

parcial y total. El daño parcial origina fugas en cualquier punto a lo largo de la longitud de la tubería; la afectación total o colapso, se considera que causa la desconexión entre conductos (Bautista, 2017).

Los estudios realizados por el Servicio Sismológico Nacional, el Sistema de Información Geográfica de Iztapalapa, el Centro Nacional para la Prevención de Desastres y la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil han dado origen a la clasificación de las zonas sísmicas con base en su intensidad, información disponible para la alcaldía.

3.4.1.4 Inundaciones

Las inundaciones son fenómenos naturales que tienen como agente a la lluvia, las destrucciones ocasionadas por las inundaciones en los sistemas de agua potable se pueden asociar al azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos, pueden ocasionar daño de equipos de bombeo al entrar en contacto con el agua (Morales & González, 2001), y la calidad del agua puede verse afectada debido a la posible mezcla del agua potable con el agua residual de la red de drenaje. Se analiza la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones para determinar el efecto sobre la calidad y cantidad de agua de consumo humano suministrada.

3.4.1.5 Tiraderos clandestinos

Los impactos ambientales de los sitios de disposición de residuos sólidos urbanos están relacionados, en su mayoría, con la migración de contaminantes en forma gaseosa o lixiviados y representan una fuente potencial de contaminación y riesgo para la seguridad del agua (Atencio P., et al., 2013)

3.4.1.6 Grado de marginación urbana

El grado de marginación urbana muestra, de manera indirecta, la capacidad de la población para enfrentar las posibles fallas que se presenten en el sistema de abastecimiento que limiten la cantidad y alterar la calidad de agua que es suministrada.

3.4.2 Factores Internos

Dentro de los factores internos se consideran las características físicas de diseño de las componentes del sistema de abastecimiento, el estado físico en que se encuentran y las condiciones de operación y eficiencia que tienen un impacto importante en la calidad y cantidad del agua que se suministra a los usuarios.

3.4.2.1 *Tandeo*

El tandeo es la prestación no continua del servicio a distintas horas y días a la población, los lapsos pueden ir de pocas horas hasta semanas, afectando así la cantidad disponible de agua en algunas colonias de la alcaldía. Además, los cambios en la presión permiten el ingreso de materiales contaminantes.

3.4.2.2 *Fuente*

Los pozos de extracción son la principal componente de la fuente de suministro y para su análisis se ha considerado el caudal de extracción y algunos parámetros de calidad. Si la calidad del agua es mala, el consumidor puede rechazarla y generar problemas de salud. Parte del suministro de la alcaldía proviene del sistema Cutzamala.

3.4.2.3 *Potabilización del agua*

La potabilización es la parte fundamental en la calidad del agua que es suministrada, ya que la entrega del agua debe garantizar el cumplimiento de la NOM-127-SSA1-1993. La garantía de la calidad potable del agua disminuye el riesgo a la salud humana. Por el contrario, la presencia de contaminantes en el agua puede producir enfermedades gastrointestinales e incluso crónicas.

Es importante considerar las condiciones de operación de los procesos de potabilización y la eficiencia de remoción de los contaminantes pues indica la prioridad de atención dependiendo de la clasificación del riesgo.

3.4.2.4 *Almacenamiento*

Los tanques de almacenamiento y rebombeo son parte fundamental del sistema hidráulico y son necesarios para la correcta operación del sistema. Para hacer un análisis de este componente es necesario conocer el estado físico de éstos, el material del cual están hechos y la capacidad de almacenamiento, además de la zona y población que es servida.

Cada tanque es alimentado con diferentes caudales, por lo que es importante conocer la calidad del agua a la llegada y en su interior.

3.4.2.5 *Distribución*

Para el análisis de la tubería, que es la que comprende mayormente la distribución, se toman en cuenta las características físicas como el diámetro y el material, ya que la literatura ha asociado distintas probabilidades de falla a distintos materiales y una mayor probabilidad de falla a diámetros menores. Se considera, además, la distribución mediante camiones cisterna (pipas) que

es una situación habitual en la alcaldía debido al tandeo y a las fallas que se presentan en la distribución. La calidad del agua debe ser medida a lo largo de la red y en la entrega a los usuarios.

En la Tabla 3-1, se muestran los factores considerados en el análisis para la realización del PSA en la alcaldía de Iztapalapa.

Tabla 3-1 Factores de riesgo considerados en el análisis.

| Factores de riesgo en el sistema de abastecimiento de agua en Iztapalapa | |
|---|-----------------------------------|
| Externos | Internos |
| Riesgo geológico | Fuente: subterránea y superficial |
| Hundimientos | Potabilización del agua |
| Zonas sísmicas | Almacenamiento |
| Inundaciones | Distribución |
| Tiraderos clandestinos | Tandeo |
| Grado de marginación urbana | |

3.5 Caracterización del riesgo

La evaluación del riesgo es el proceso de identificar y dimensionar las consecuencias negativas que puedan resultar de una acción y la gestión del riesgo ayuda a tomar decisiones para controlar los peligros identificados en la evaluación.

Una vez determinados los posibles eventos de falla y sus fuentes deberán compararse los riesgos asociados a cada factor de peligro o suceso peligroso, de modo que puedan establecerse y documentarse las prioridades de la gestión de riesgos.

En el proceso de evaluación de riesgos se aplica un método semicuantitativo, que comprende la estimación de la gravedad o consecuencia (Secretaría Distrital de Salud, 2014).

3.5.1 Matriz semicuantitativa de riesgo

La clasificación del riesgo sigue un método semicuantitativo con la asignación de puntajes a distintos intervalos (categorías de riesgo), estos comprenden la estimación de la gravedad de la ocurrencia de un evento peligroso (Bartram, et al., 2009). Las categorías de riesgo se basan en la revisión bibliográfica del estudio de los eventos de falla en específico para la alcaldía de Iztapalapa y en el conocimiento del sistema con relación al suministro de agua a la población, el

puntaje para cada categoría es elaboración propia basada en la experiencia de la aplicación de los PSA.

La matriz de riesgo semicuantitativa, utilizada para la clasificación del riesgo en este trabajo fue una adaptación del Manual de desarrollo de los planes de seguridad del agua que propone la Organización Mundial de la Salud (Bartram, et al., 2009), y la que fue utilizada en Uganda por Godfrey, et al., en 2003. La matriz consta de dos secciones: factores externos y factores internos.

Dentro de los factores externos, se asigna un puntaje a cada uno de los elementos que ya fueron descritos en el sección 3.43.4 *Identificación de eventos de falla*. La asignación del puntaje depende de la clasificación que, en mapas de riesgo y vulnerabilidad, ya han sido desarrollados. El puntaje mayor es asignado a la situación de mayor riesgo mientras que el menor corresponde a una situación que presenta las menores afectaciones posibles.

La evaluación y clasificación de los riesgos se realiza a partir de la matriz semicuantitativa, cuya puntuación se obtiene a través de la suma del puntaje asociado a los factores externos e internos. La evaluación del riesgo muestra la clasificación del riesgo por colonias y con ello se prioriza la gestión de este.

Debido a que dentro de las propias colonias se tienen distintas áreas con distintas características de riesgo asociado a factores externos, se realiza la ponderación con respecto al porcentaje de áreas que ocupa cada una de las subáreas analizadas, para al final establecer la categoría de riesgo al que pertenece cada colonia.

3.5.2 Clasificación de los factores externos

3.5.2.1 *Riesgo geológico*

Los fenómenos geológicos tienen que ver con la transformación de la superficie terrestre, dando origen a las fallas y fracturas, a los plegamientos, el vulcanismo, los deslizamientos de la tierra, etc. El riesgo geológico se considera debido a las rupturas de tubería de agua potable que se pueden generar.

El riesgo geológico para Iztapalapa ha sido clasificado por las entidades dedicadas al riesgo en nivel de riesgo alto, medio y bajo (Iztapalapa, 2011).

Dentro de la clasificación de riesgo alto se encuentra la zona con una heterogeneidad de materiales que está compuesta principalmente por materiales colapsables y donde existe deslizamiento en bloques, esta zona es la más propensa al fracturamiento.

La clasificación de riesgo medio contempla las zonas que presentan deformación diferencial en el suelo y que están propensas al fracturamiento debido a la presencia de las principales fracturas.

El riesgo geológico bajo contempla las zonas que son menos propensas al fracturamiento.

Quedando una asignación de puntaje de la siguiente forma:

Tabla 3-2 Puntaje asignado al riesgo geológico.

| Clasificación del riesgo* | Puntaje |
|---------------------------|---------|
| Riesgo geológico alto | 3 |
| Riesgo geológico medio | 2 |
| Riesgo geológico bajo | 1 |

*Fuente: SPC, 2010

3.5.2.2 Hundimiento

El hundimiento varía de acuerdo con la intensidad de la extracción del agua y de las condiciones del subsuelo, esta situación ha incrementado la subsidencia de la superficie con respecto a un nivel de referencia estable (Iztapalapa, 2011). El hundimiento diferencial puede ocasionar fallas en la operación de equipos electromecánicos y de bombeo, además de generar fracturas en la red de distribución.

El hundimiento se ha clasificado de acuerdo con los centímetros por año desplazados con respecto a un nivel de referencia.

Dentro de la clasificación del riesgo referente a los hundimientos, el puntaje se asigna de la siguiente manera:

Tabla 3-3 Puntaje asignado al riesgo por hundimiento.

| Clasificación del hundimiento* | Intensidad | Puntaje |
|--------------------------------|------------|---------|
| Hundimiento de 22 a 44 cm/año | Muy alta | 3 |
| Hundimiento de 13 a 22 cm/año | Alta | 2 |
| Hundimiento de 6 a 13 cm/año | Media | 1 |
| Hundimiento de 0 cm/año | Baja | 0 |

*Fuente: SPC, 2010

3.5.2.3 Zonas sísmicas

Las consecuencias generadas por un sismo en el sistema de abastecimientos son numerosas, y de distinta magnitud, pueden ir desde una fractura en la tubería hasta la destrucción parcial o total de la infraestructura hidráulica, lo que permite el ingreso de contaminantes microbiológicos a la red de tubería.

Las zonas sísmicas se clasifican con base en la velocidad del suelo ante un sismo postulado con magnitud igual a 8.4 grados en la escala Richter y distancia focal de 300 km. El puntaje es el siguiente:

Tabla 3-4 Puntaje asignado al riesgo por sismicidad.

| Clasificación de la velocidad del suelo* | Intensidad | Puntaje |
|---|------------|---------|
| Velocidad máxima del suelo de mayor a 100 cm/s (Zona IIIId) | Muy alta | 6 |
| Velocidad máxima del suelo de 85 a 100 cm/s (Zona IIIc) | Muy alta | 5 |
| Velocidad máxima del suelo de 70 a 85 cm/s (Zona IIIb) | Alta | 4 |
| Velocidad máxima del suelo de 55 a 70 cm/s (Zona IIIa) | Media | 3 |
| Velocidad máxima del suelo de 40 a 55 cm/s (Zona II) | Baja | 2 |
| Velocidad máxima del suelo de 15 a 40 cm/s (Zona I) | Muy Baja | 1 |

*Fuente: SPC, 2010

3.5.2.4 Inundaciones

Las lluvias extraordinarias causan caudales extremos que provocan inundaciones traduciéndose en daños a la infraestructura hidráulica y poniendo en riesgo la calidad del agua potable al existir una posible mezcla con agua residual.

Para la asignación de un puntaje por riesgo de inundación, se analiza si el área de análisis se encuentra dentro de las áreas catalogadas como inundables, quedando el puntaje siguiente:

Tabla 3-5 Puntaje asignado al riesgo por inundación.

| Clasificación del riesgo por inundación* | Puntaje |
|--|---------|
| Área de inundación | 1 |
| Área no inundable | 0 |

*Fuente: SPC, 2010

3.5.2.5 Tiraderos clandestinos

La generación de lixiviados en tiraderos clandestinos tiene un impacto negativo en la calidad del agua, ya que estos pueden entrar a través de fisuras en la tubería o migrar hasta el acuífero.

El área en la que se tiene influencia por los tiraderos clandestinos fue determinada mediante polígonos de Thiessen, estos fueron calculados con el sistema de información geográfica ArcGis 10.3, y el puntaje es el siguiente:

Tabla 3-6 Puntaje asignado al riesgo por presencia de tiraderos.

| Clasificación del riesgo por la presencia de tiraderos clandestinos* | Puntaje |
|--|---------|
| Área influenciada | 1 |
| Área no influenciada | 0 |

*Fuente: SEDEMA, 2019

3.5.2.6 Grado de marginación urbana

Se incluye el grado de marginación urbana como medida indirecta de la vulnerabilidad de la población, este fue obtenido por la Comisión Nacional de la Población que tiene como fuente de información el Censo de Población y Vivienda 2010.

El grado de marginación proporciona una herramienta que permite evaluar las carencias sociales en distintas colonias, el índice puede ser utilizado como criterio para establecer prioridades en la toma de decisiones ya que facilitan el estudio de situaciones que pueden traer consecuencias adversas.

El grado de marginación incluye datos socioeconómicos de la población como la condición de la asistencia escolar, el nivel educativo, ser derechohabiente de los servicios públicos de salud, condición de la vivienda como disponibilidad de agua y disponibilidad de drenaje entre otros. La clasificación es la siguiente:

Tabla 3-7 Puntaje asignado al grado de marginación urbana

| Índice de Marginación Urbana* | Puntaje |
|-------------------------------|---------|
| Muy alto | 5 |
| Alto | 4 |
| Medio | 3 |
| Bajo | 2 |
| Muy bajo | 1 |

*Fuente: CONAPO, 2010

3.5.3 Clasificación de los factores internos

La clasificación de los factores internos para este trabajo se hará mediante el análisis de la información de algunos parámetros de la calidad del agua en pozos y plantas potabilizadoras, además de contemplar condiciones físicas de los elementos que conforman el sistema de abastecimiento y condiciones de operación en la distribución.

3.5.3.1 Tandeo

La intermitencia hidráulica o tandeo es uno de los problemas en el suministro que más se presenta en la alcaldía, es por lo que, en abril de 2019 se condonó el pago correspondiente a los ejercicios fiscales 2014-2019 a 71 colonias de la alcaldía (Gobierno de la Ciudad de México, 2019). Al ser un factor que indica afectación en la cantidad de agua suministrada por el sistema se considera un factor interno.

Debido a que el tandeo es un indicador de deficiencia en la entrega del servicio y no se tiene información de la duración, este se ha catalogado de la siguiente forma:

Tabla 3-8 Puntaje asignado al riesgo por tandeo.

| Clasificación por presencia de tandeo | Puntaje |
|---------------------------------------|---------|
| Colonias con tandeo | 1 |
| Colonias sin tandeo | 0 |

Fuente: Gobierno de la Ciudad de México, 2019

3.5.3.2 Pozos

La calidad del agua se determina mediante ponderaciones de cinco parámetros analizados, que son: turbiedad, color, nitrógeno amoniacal, hierro y manganeso, por ser los que con mayor frecuencia rebasan el límite tolerable en la alcaldía.

La presencia del color y la turbiedad generan rechazo por parte del consumidor, el hierro proporciona color y olor al agua también, es por lo que son los parámetros con menores porcentajes, por el contrario, el agua potable con niveles de concentración altos de manganeso puede ocasionar problemas con el desarrollo del cerebro en bebés y niños pequeños, afectando la memoria, atención o problemas motores. El nitrógeno amoniacal proporciona un sabor y olor en mayor magnitud que lo que puede proporcionar el hierro presente o la turbiedad originada por los sólidos suspendidos, esto ocasiona el rechazo por parte del consumidor.

Los porcentajes de los parámetros utilizados para establecer la calidad del agua son los siguientes:

Tabla 3-9. Ponderación de parámetros para calidad del agua subterránea

| Parámetro | Color | Nitrógeno amoniacal | Hierro Total | Manganeso | Turbiedad |
|------------|-------|---------------------|--------------|-----------|-----------|
| Porcentaje | 15% | 30% | 15% | 30% | 10% |

Si un pozo supera los límites máximos permisibles a este se le asigna el porcentaje establecido en la Tabla 3-9. Se genera una suma de los porcentajes para establecer la clasificación del riesgo. Debido a que si la calidad del agua es mala el riesgo es mayor, el puntaje es el siguiente:

Tabla 3-10 Puntaje asignado a la calidad del agua subterránea que se extrae de cada pozo.

| Si | % final \leq 33% | 33% < % final \leq 67% | 67% < % final \leq 100% |
|---------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| Clasificación | Bajo | Medio | Alto |
| Puntaje | 1 | 2 | 3 |

Si la clasificación del riesgo es baja, indica que el pozo está sobrepasando uno o dos parámetros de los de menor porcentaje, si la clasificación del riesgo es medio, el pozo sobrepasa los límites máximos permisibles de dos o tres parámetros, y el riesgo alto indica que más de tres parámetros están sobrepasando lo límites.

3.5.3.3 Potabilización del agua

Iztapalapa es la alcaldía con el mayor porcentaje de plantas potabilizadoras con respecto a la Ciudad de México, se identifican 27 de ellas de un total de 48 plantas potabilizadoras que indica CONAGUA en el inventario nacional en 2018.

Para cada planta potabilizadora se consideran la calidad del agua tanto a la entrada como a la salida, además de la eficiencia de remoción.

Para la clasificación del riesgo en las plantas potabilizadoras se toman en cuenta los mismos cinco parámetros utilizados para el análisis de los pozos:

Tabla 3-11. Ponderación de parámetros para las potabilizadoras en el influente y efluente

| Parámetro | Color | Nitrógeno amoniacal | Hierro Total | Manganeso | Turbiedad |
|------------|-------|---------------------|--------------|-----------|-----------|
| Porcentaje | 15% | 30% | 15% | 30% | 10% |

De acuerdo con la suma del porcentaje de la Tabla 3-11, obtenido con los parámetros que superan los límites, el caudal de entrada y de salida, de manera independiente, se clasifica de la siguiente forma:

Tabla 3-12. Puntaje asignado a la calidad del agua en el influente y efluente de las potabilizadoras

| | | | |
|---------------|---------------|---------------------|----------------------|
| Si | % final ≤ 33% | 33% < % final ≤ 67% | 67% < % final ≤ 100% |
| Clasificación | Bajo | Medio | Alto |
| Puntaje | 1 | 2 | 3 |

De igual manera que la componente de los pozos, de la Tabla 3-12 se observa que si el riesgo es bajo, uno o dos parámetros están por encima de los límites máximos, si el riesgo es medio, dos o tres parámetros están superando las concentraciones máximas, si el riesgo es alto, tres o más parámetros son superiores a los límites máximos permisibles.

Para determinar el porcentaje de eficiencia de remoción se utilizó la siguiente fórmula:

Donde:

$$\frac{C_e - C_s}{C_e} \times 100\%$$

C_e – Concentración de entrada, en mg/L

C_s – Concentración de salida, en mg/L

Si el porcentaje de la eficiencia de remoción es baja o negativa se presenta un mayor riesgo, por lo que se presenta la siguiente clasificación:

Tabla 3-13. Puntaje asignado a la eficiencia de remoción en las plantas potabilizadoras

| | | | |
|---------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| Si | % remoción ≤ 0% | 0% < % remoción ≤ 50% | 50% < % remoción ≤ 100% |
| Clasificación | Alto | Medio | Bajo |
| Puntaje | 3 | 2 | 1 |

Al igual que los pozos, las plantas potabilizadoras que no presentan datos se clasificaron con un riesgo medio para amortiguar la incertidumbre del riesgo.

Para la clasificación de la componente potabilización se realiza la suma de los puntajes de la calidad del agua en el influente (3), efluente (3) y eficiencia de remoción (3), quedando de la siguiente forma:

Tabla 3-14. Puntaje asignado a las plantas potabilizadoras

| Suma Puntaje | Clasificación de la componente potabilización |
|-----------------------------|---|
| $0 < \text{Puntaje} \leq 3$ | Bajo |
| $3 < \text{Puntaje} \leq 6$ | Medio |
| $6 < \text{Puntaje} \leq 9$ | Alto |

Si la clasificación de riesgo de una planta potabilizadora es baja, los factores (influyente, efluente y eficiencia de remoción) son bajos, si el riesgo es medio por lo menos un factor es medio, y si es alto, por lo menos un factor es alto.

3.5.3.4 Almacenamiento de agua

El almacenamiento está conformado por tanques, estos ayudan a aumentar la carga hidráulica y así distribuir de manera correcta el recurso hídrico. Es importante analizar la calidad del agua en ellos y establecer una calificación de riesgo considerando también las características físicas del tanque, como lo son el material, estado físico y la capacidad de almacenamiento. Sin embargo, por la complejidad del sistema de abastecimiento en Iztapalapa y el corto tiempo de esta investigación no fue posible contar con la información necesaria y tampoco hacer pruebas de calidad en esta componente.

3.5.3.5 Distribución del agua

La componente distribución está conformada principalmente por la tubería, sin embargo, por la complejidad de la red de distribución no es posible conocer la calidad del agua a lo largo de ésta. Tampoco hay información disponible para establecer la dirección del flujo para conocer la población y zonas servidas.

El análisis de riesgo se realiza con las características de diámetro y material que presenta la tubería.

Los estudios sobre el origen de las fracturas en la tubería han demostrado que en diámetros menores existe una mayor probabilidad de falla debido a las presiones que se pueden presentar en la tubería, por eso los diámetros se clasifican como lo muestra la Tabla 3-15.

El puntaje fue retomado de las experiencias de éxito de los PSA aplicados en otras ciudades, y catalogado mediante la frecuencia de fallas en distintos diámetros.

Tabla 3-15 Puntaje asignado al diámetro de la tubería

| Díámetro de la tubería (pulgadas) | Puntaje |
|-----------------------------------|---------|
| 6, 8, 10 | 5 |
| 12, 20, 24 | 4 |
| 30, 36, 42 | 3 |
| 48 | 2 |
| 72 | 1 |

Con las investigaciones realizadas sobre los materiales utilizados en la tubería se ha demostrado que los materiales plásticos presentan un menor riesgo a las fracturas y fugas que los materiales metálicos y aquella tubería que ha sido desarrollada con concreto, por lo que

Tabla 3-16 muestra el puntaje para la clasificación del material que se reporta en la alcaldía.

El puntaje asignado a los materiales de la tubería también fue propuesto después de la revisión de los casos de éxito en distintos países y mediante la clasificación de la frecuencia de fallas en diversos materiales.

Tabla 3-16 Puntaje asignado al material de la tubería

| Material de la tubería | Puntaje |
|------------------------------|---------|
| Concreto reforzado | 4 |
| Fibrocemento | 3 |
| Polietileno de alta densidad | 2 |
| Policloruro de Vinilo | 1 |

Es importante mencionar que la relación tandeo vs resistencia de la tubería es otro factor a considerar, ya que el hecho de no tener presión durante cierto tiempo y luego aumentarla súbitamente produce esfuerzos que pueden dar lugar a su falla, incluso mayor que soportar la misma presión durante un periodo de tiempo más prolongado.

3.6 Desarrollo de mapas

Una vez evaluados los riesgos estos se expresaron gráficamente con la correspondiente escala de magnitud.

Un mapa de riesgo es, ante todo, una herramienta de análisis espacial que, entre otros usos, permite identificar zonas de mayor o menor riesgo frente a diferentes peligros.

Para la construcción de un mapa de riesgos, es indispensable acopiar y gestionar gran cantidad de información, dificultada la mayor parte de las veces por la inexistencia, la inaccesibilidad y la falta de fiabilidad de muchos de los datos necesarios. Por otro lado, no toda la información obtenida sobre la realidad de un territorio en un momento dado tiene la misma importancia para la programación de la prevención.

Para la construcción de los mapas es necesario contar con información cartográfica y junto con ella, los riesgos serán representados gráficamente con la simbología adecuada para que estos sean comunicados adecuadamente.

Los mapas generados en este trabajo de investigación contienen información de los planos que indican la ubicación de la infraestructura hidráulica, así como un esquema general de todo el sistema hidráulico, contemplando fuente, tratamiento de potabilización, almacenamiento y distribución, componentes donde se analizan y evalúan los factores de riesgo interno.

Además, se desarrollan los mapas con la información existente en la alcaldía que indica una fuente potencial de riesgo: geológico, sísmico, hundimientos e inundaciones.

Una vez realizada la clasificación del riesgo por colonias de los factores internos y externos, con ayuda del programa ArcGis 10.3 y las tablas dinámicas de Excel, se sobreponen las capas que contienen los datos de estos factores. A manera de ejemplo, en la Figura 3-2 se observan los polígonos de las colonias de la alcaldía de Iztapalapa, las cuales están divididas en distintas áreas (segmentos) donde los distintos colores, colocados aleatoriamente por el programa, corresponden a cada colonia con la asignación de atributos de los riesgos externos correspondientes.

Sobreposición de factores externos

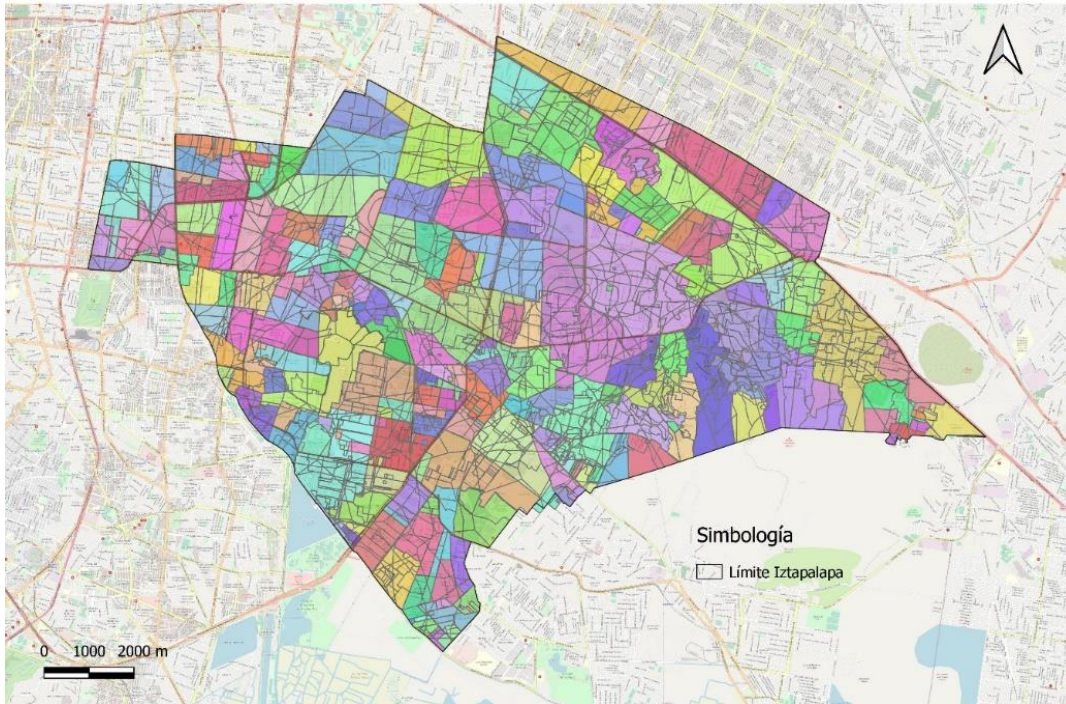


Figura 3-2. Sobreposición de las capas de factores externos

∅

El sistema de información geográfica ayuda a dividir las colonias en segmentos y asignarles atributos, que en este caso son las características de riesgo de los factores externos. Así, con el puntaje asignado a cada una de las características de riesgo, se determina la categoría de riesgo a la que pertenece la colonia como se ilustra a continuación.

Por ejemplo, la colonia Apatlaco está formada por 43 segmentos de área (Figura 3-3), cada segmento cuenta con una calificación dependiendo de los atributos que la conforman, como se muestra en la Tabla 3-17. Esto se realiza mediante la suma de los puntajes asignados a cada factor externo de riesgo con potencial de ocurrir en cada segmento; posteriormente se realiza la evaluación de estos puntajes para determinar el nivel de riesgo que le corresponde a cada segmento; y finalmente se determina la clasificación de riesgo para la colonia Apatlaco, la cual va a corresponder al nivel de riesgo que cubra el mayor porcentaje de área. La clasificación se realiza con ayuda de Excel, ya que se exporta la tabla de atributos de la capa mediante condicionales se asigna el puntaje de los segmentos antes descritos.

Dependiendo del puntaje, se asigna la clasificación final de la colonia, como puede observarse en la Figura 3-4, la colonia Apatlaco pertenece a la categoría de riesgo muy alto.

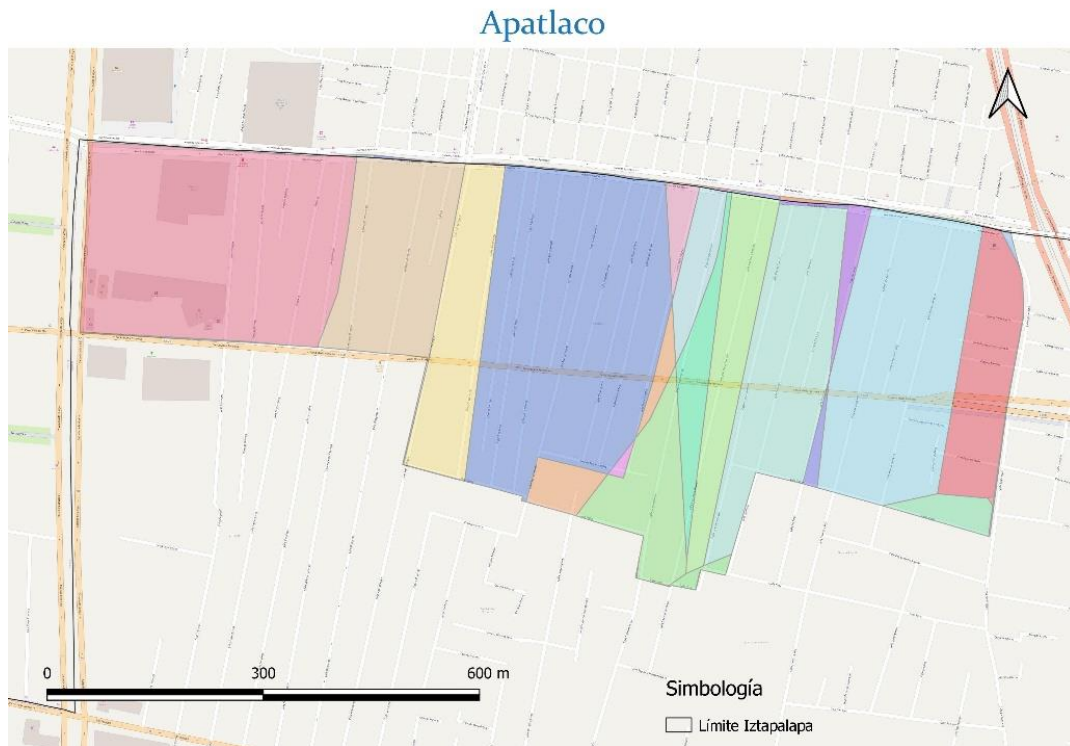


Figura 3-3 Segmentos de la colonia Apatlaco

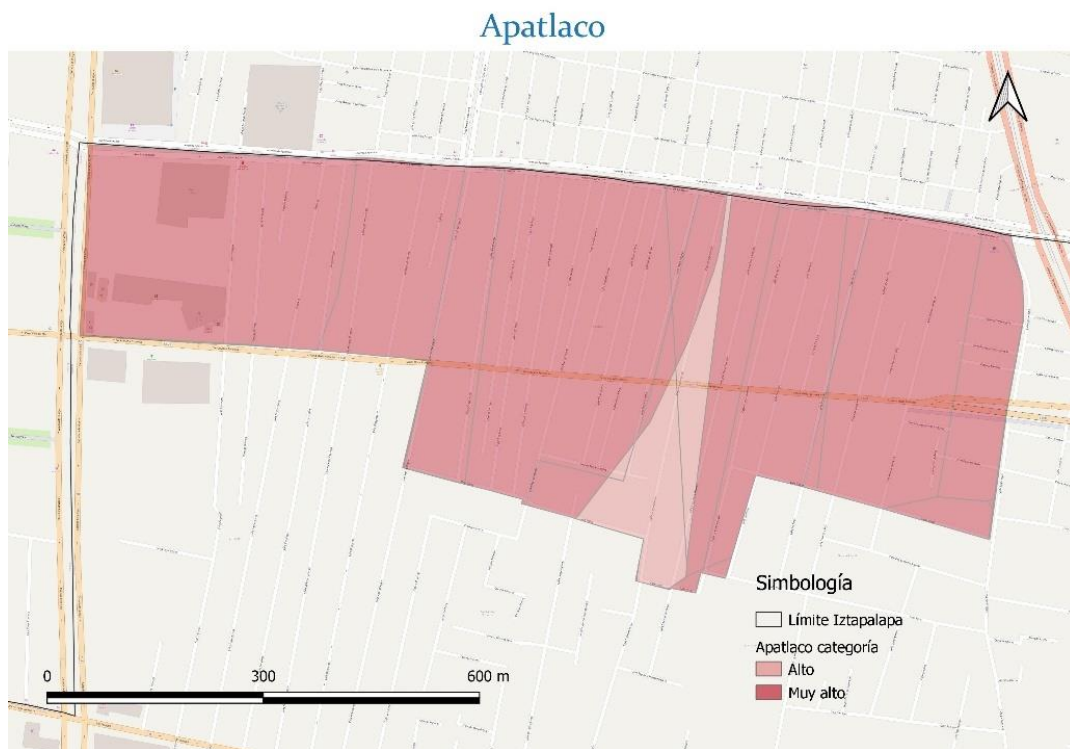


Figura 3-4 Clasificación de riesgo externo para la colonia Apatlaco

Tabla 3-17. Matriz semicuantitativa para la colonia Apatlaco

| Riesgo geológico | Puntaje Riesgo geológico | Hundimiento | Puntaje Hundimiento | Zonas sísmicas | Puntaje Zonas sísmicas | Inundación | Puntaje Inundación | Grado de marginación urbana 2010 | Puntaje GMU | Tiraderos | Puntaje Tiraderos | Puntaje final | Clasificación |
|------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|--------------------|----------------------------------|-------------|-----------|-------------------|---------------|---------------|
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad del suelo mayor a 100 cm/s | 6 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 12 | Alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 12 | Alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 12 | Alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 12 | Alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad del suelo mayor a 100 cm/s | 6 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 15 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad del suelo mayor a 100 cm/s | 6 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-------------------|---|---|---|----|---|-------|---|----|---|----|----------|
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 14 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima del suelo de 85 a 100 cm/s | 5 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Bajo | 2 | Sí | 1 | 12 | Alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |
| Medio | 2 | De 13 a 22 cm/año | 2 | Velocidad máxima de 70 a 85 cm/s | 4 | No | 1 | Medio | 3 | Sí | 1 | 13 | Muy alto |

4. Resultados

4.1 Iztapalapa

Iztapalapa se localiza en el oriente de la Ciudad de México, con coordenadas: al Norte $19^{\circ}24'$, al sur $19^{\circ}17'$ de latitud norte; al este $98^{\circ}58'$, al oeste $99^{\circ}08'$ de longitud este. Con una superficie de 116.17 km^2 , ocupa el cuarto lugar entre las demarcaciones capitalinas por su extensión, representa el 7.5% de la superficie de la Ciudad de México. Limita al norte con Iztacalco, al poniente con Benito Juárez y Coyoacán; al sur con Xochimilco y Tláhuac; al oriente con los municipios mexiquenses de La Paz y Valle de Chalco Solidaridad, y al noreste con Nezahualcóyotl, también en el Estado de México.

Cuenta con un clima templado–subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad y semiseco templado con temperaturas promedio de 16.7° C y extremas menores de 13.2° en invierno y 19.0° en primavera. La precipitación pluvial anual, registrada de 1956 a 1989 es en promedio de 607.00 mm donde el año más seco registra los 403.80 mm y el año más lluvioso de 864.80 mm según datos de la Comisión Nacional de Agua, Registro Mensual de Precipitación Pluvial en milímetros (Iztapalapa, 2012).

Según el Plan de Desarrollo Urbano, 2007, la alcaldía en sus partes de planicie tiene una altitud de $2,240 \text{ msnm}$, siendo superada tan sólo por los montículos cerriles de la Sierra de Santa Catarina, El Cerro de la Estrella y El Peñón del Marqués que llegan a alcanzar una altitud máxima de $2,820 \text{ msnm}$. El territorio ocupa una de las partes más bajas en el valle de la Ciudad de México, representa riesgos de encharcamientos e inundaciones. En un 95% se forma por áreas planas y semiplanas, que son ocupadas en su totalidad por espacios urbanos en pendientes no mayores del 5%.

El crecimiento demográfico de la alcaldía representa una muy alta proporción del incremento total de la población de la Ciudad de México. En la década 1970-1980, correspondió al 54.3% del crecimiento del Distrito Federal, hoy CDMX. En la década 1980-1990, la alcaldía tuvo un crecimiento de $341,088$ habitantes, superior en 1.6 veces al crecimiento total de la Ciudad de México, indicando que Iztapalapa fue asiento de numerosas familias que abandonaron las delegaciones centrales y fue destino de familias procedentes de otras entidades federativas. En

los últimos años ha alojado el 83.7% del crecimiento de la Ciudad de México, agotando prácticamente su reserva de suelo urbanizable (Iztapalapa, 2012).

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, la alcaldía forma parte de lo que fuera una zona lacustre, presenta un suelo inestable para las construcciones de cimentaciones y redes de infraestructura, integrado por depósitos de arcilla, altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenidos diversos de limo y arcilla, al igual que las cubiertas superficiales formadas por suelos aluviales y rellenos artificiales. La excepción de este tipo de suelos se encuentra en los montículos cerriles referidos anteriormente, los cuales se encuentran constituidos principalmente por material basáltico.

Desecado el lago de Texcoco, el reconocimiento de corrientes de agua se da en los canales de Chalco y Nacional, que se encuentran a cielo abierto y forman límites con las alcaldías de Xochimilco y Coyoacán; además, de los canales de Churubusco y de Garay que se encuentran entubados.

La alcaldía de Iztapalapa cuenta con una población de 1,815,000 habitantes, el suministro promedio a la alcaldía es de 4,500 L/s, mientras que el consumo se estima entre 3,500 y 3,800 L/s (Machorro Martínez, et al., 2013).

La alcaldía Iztapalapa es la que cuenta con la peor calidad de agua de la Ciudad de México: presenta olor fétido, partículas suspendidas, coloración, presencia de manganeso, hierro, nitrógeno amoniacal, bicarbonatos, entre otros, además de la presencia de coliformes en el agua. El gobierno de Marcelo Ebrard gastó millones de pesos en la reparación y construcción de sistemas de agua potable en la delegación, pero es una zona de muchos asentamientos irregulares, con suelo que se reblandece constantemente y las tuberías se rompen con frecuencia combinando el agua limpia con el agua del drenaje, razón por la cual la distribución de agua en esta alcaldía no solo es limitada, sino que no cumple con los parámetros de calidad establecidos (Arec, et al., 2010).

4.1.1 Organismo Operador

Dentro de la Ciudad de México el organismo encargado de la distribución del agua potable es el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX); a partir del 1 de enero de 2003 entró en funcionamiento por decreto del Jefe de Gobierno del Distrito Federal, al fusionar la entonces Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas

del Distrito Federal (CADF). El Sistema de Aguas de la Ciudad de México está sectorizado en la Secretaría del Medio Ambiente y tiene por objetivo, con base en el Decreto por el cual se creó, prestar los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de agua residual y reutilización. Entre las funciones más importantes del SACMEX está formular, actualizar y controlar el desarrollo del programa de operación hidráulica de la Ciudad de México, así como los estudios y proyectos de abastecimiento de agua potable y reaprovechamiento del agua residual, construyendo y conservando las obras de infraestructura hidráulica y de drenaje que requiere la ciudad, en coordinación con las autoridades competentes. Además de operar y conservar los sistemas de aprovechamiento y distribución de agua potable y alcantarillado de la Ciudad de México; supervisar y vigilar su funcionamiento; proyectar y ejecutar las obras de prevención y control de inundaciones, hundimientos y movimientos de suelo, siempre y cuando sean de tipo hidráulico; autorizar y supervisar las conexiones del sistema de agua potable, así como la construcción y conservación de pozos y manantiales, ampliando y mejorando los sistemas de agua potable de la Ciudad de México (SACMEX, 2012).

A la vez, el SACMEX establece la coordinación con las Instituciones y Organismos precisos para desarrollar acciones conjuntas con los municipios y estados circunvecinos a la Ciudad de México en materia hidráulica, además de planear, instrumentar y coordinar acciones que conduzcan a lograr el uso eficiente del agua en la Ciudad de México.

De acuerdo con el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), la gestión del agua en la Ciudad de México es superior en algunos temas al promedio nacional: 98% de cobertura (94% nacional) y 82% de tomas con servicio continuo (75%, nacional); mientras que, en otros temas, los indicadores tienen valores inferiores: 42% de usuarios con pago a tiempo (57% nacional); 57% de cobertura de micromedición (61% nacional) y 23% de usuarios abastecidos con pipas (10% nacional). Asimismo, de acuerdo con la evaluación realizada por el Consejo Consultivo del Agua (CCA) a los sistemas de abastecimiento de agua potable de las 26 ciudades más importantes del país, con base en 12 indicadores de desempeño, la Ciudad de México ocupa el lugar número 23 (Gonzalez Villareal, et al., 2016).

En Iztapalapa, de acuerdo con Gunther (2010), existen problemas graves de desigualdad en su distribución.

De acuerdo con información obtenida en visitas a la Dirección General de Servicios Urbanos de la alcaldía de Iztapalapa, el SACMEX es el encargado de suministrar cierto caudal a la alcaldía proveniente de pozos y del Sistema Cutzamala y la alcaldía es la encargada de realizar su distribución, sin embargo, se desconoce a detalle la manera en que la distribución se lleva a cabo en el complejo sistema de pozos (algunos directamente al red, otros a plantas potabilizadoras y a otros tanques), plantas potabilizadoras (algunas directamente a la red y otras a tanques) y tanques (algunos directamente a red y otros rebombean a otros tanques).

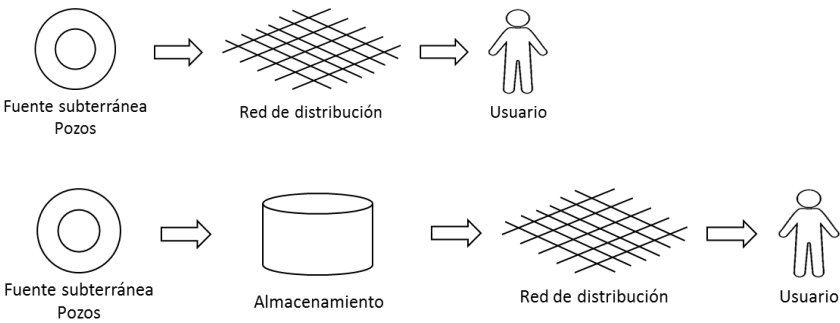
El SACMEX monitorea la calidad del agua en distintos puntos del sistema de distribución, el organismo con la finalidad de contar con la infraestructura necesaria para medir la calidad del agua estableció el Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua también conocido como el Laboratorio Químico de Xotepingo, dicho laboratorio analiza rutinariamente 30 de los 47 parámetros mencionados en la NOM-127-SSA1-1994.

Además del laboratorio de Xotepingo, el SACMEX cuenta con tres laboratorios más para analizar la calidad del agua ubicados en las plantas potabilizadoras Xaltepec y Agrícola Oriental (con infraestructura para parámetros básicos) y en la planta de tratamiento de agua residual Cerro de la Estrella.

4.1.2 Esquemas generales de distribución del sistema de abastecimiento

La distribución del agua dentro del sistema de abastecimiento en Iztapalapa puede seguir distintas rutas.

Aquí se presentan los diagramas a los que en general responden las rutas de distribución.



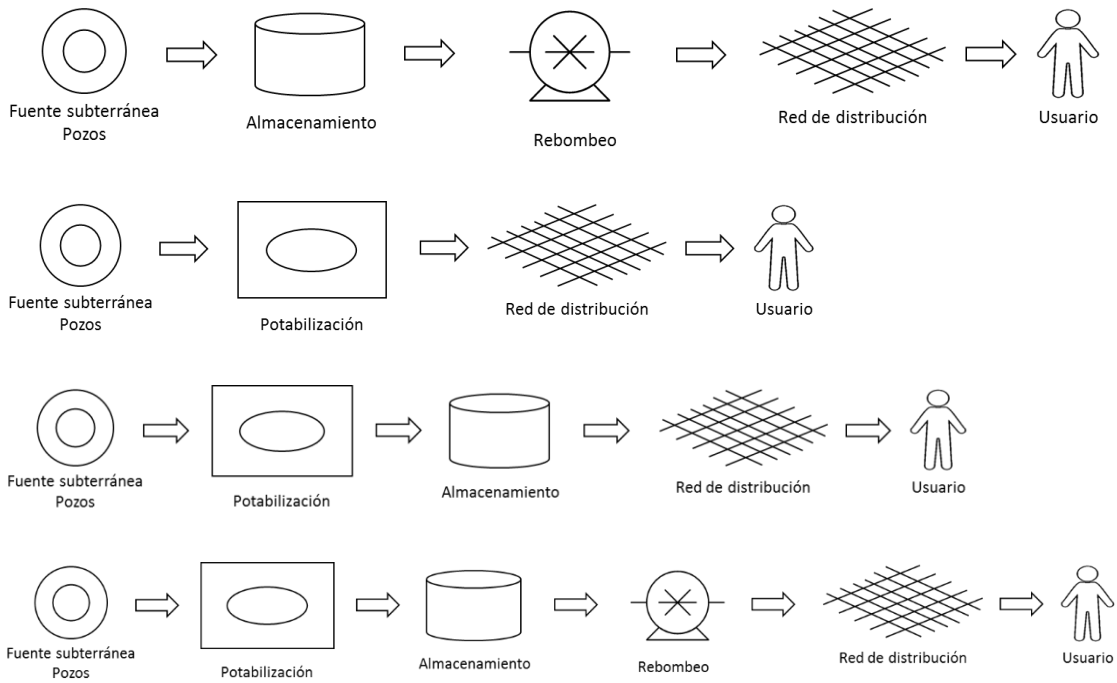


Figura 4-1. Esquemas generales de distribución del sistema de abastecimiento

Como se observa en la Figura 4-1, la mayor parte del caudal suministrado tiene como origen una fuente subterránea, el agua continúa con el proceso de potabilización, después es almacenada o en caso de que se necesite incrementar la carga hidráulica se utiliza un tanque de rebombear para llegar a la red de distribución y poder ser entregada al usuario.

Pese a ello, algunas rutas no contemplan la potabilización y/o el almacenamiento y es conducida a la red de distribución para ser entregada al usuario, esta ruta incrementa el riesgo a la salud pues existe incertidumbre con respecto a la garantía de la calidad potable.

4.2 Infraestructura hidráulica

La infraestructura del sistema de abastecimiento de la alcaldía de Iztapalapa es vasta y compleja, en la Figura 4-3 se muestra la infraestructura hidráulica que compone el sistema de distribución de la alcaldía de Iztapalapa: pozos, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y rebombear y la red de distribución.

4.2.1 Fuentes de abastecimiento

La fuente de abastecimiento de agua es de tipo subterráneo, las baterías de pozos se encuentran sobre el acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, pero CONAGUA reporta en 2014 que existe un déficit en este acuífero.

La información proporcionada por personal operativo SACMEX muestra la existencia de 76 pozos, sin embargo, seis de estos pozos se encontraban fuera de operación, sólo 70 trabajando para abastecer a la población con un caudal de extracción en los pozos de 60 L/s en promedio.

En la Figura 4-4 se observa la ubicación de los pozos que se reportan en operación.

4.2.2 Potabilización del agua

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México reporta 27 plantas potabilizadoras en la alcaldía teniendo como operaciones principales la oxidación con cloro, la oxidación con ozono, ósmosis inversa, filtración con zeolita, desgasificación e hidrociclones.

De las 27 potabilizadoras, 19 (70%) cuentan con una capacidad instalada menor o igual a 60 L/s, 6 (22%) tienen una capacidad instalada entre 100 y 250 L/s, 1 (4%) una capacidad instalada de 500 L/s y 1 (4%) tiene una capacidad instalada de 700 L/s. La Tabla 4-1 muestra los procesos con los que se lleva a cabo la potabilización en cada una de las plantas potabilizadoras de Iztapalapa.

Tabla 4-1. Procesos, capacidad instalada y caudal medio tratado en las plantas potabilizadoras de Iztapalapa

| POTABILIZADORAS | CAPACIDAD INSTALADA (L/s) | CAUDAL MEDIO TRATADO (L/s) | PROCESOS |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|---|
| ACUEDUCTO SIERRA SANTA CATARINA | 250 | 120 | Hidro - Desg - Fg - O3 - Fz - Desinf no hay hasta rebombeo |
| AGRICOLA ORIENTAL | 240 | 150 | OxCL - Hidro - Desg - O3 - Fg - Fz - OI - D |
| AUXILIAR XOTEPINGO 4C | 50 | 50 | OxCL - Fz - D |
| CARLOS L. GRACIDAS | 38 | 38 | OxCL - Fz - D |
| CERRO DE LA ESTRELLA 2 | 60 | 50 | O3 (no opera oxida c/Cl) - Fz - D |
| EJERCITO DE AGUA PRIETA - PEÑÓN 2 | 50 | 50 | Hidro - Desg - Fz - OI - D |
| GRANJAS SAN ANTONIO | 60 | 40 | OxCL - Fz - D |
| IZTAPALAPA 1 | 60 | 60 | O3 - Fas - Fca - OI - D |
| IZTAPALAPA 2 | 60 | 60 | O3 - Fz - D |
| PURISIMA 2 | 60 | 60 | OxCL - Fz - D |
| PURISIMA 3 Y 7 | 135 | 100 | OxCL - Fz - OI - D |
| PURISIMA DEMOCRATICA | 60 | 50 | Desg - O3 - Fa/an - Fz - OI - D |
| PURISIMA IZTAPALAPA 1 | 60 | 40 | Desg - O3 - Fz - Fg/a - OI - D |

| POTABILIZADORAS | CAPACIDAD INSTALADA (L/s) | CAUDAL MEDIO TRATADO (L/s) | PROCESOS |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---|
| PURISIMA IZTAPALAPA 5 | 60 | 42 | Desg - Fz - O3 - Fz - OI - D |
| SAN LORENZO TEZONCO NUEVO | 60 | 12 | Hidro - Fz - OI - Desg - D |
| SANTA CATARINA 10 | 60 | 52 | Desg - Fz - OI - D |
| SANTA CATARINA 11 | 50 | 40 | OxCL - Fz - D |
| SANTA CATARINA 13 | 60 | 50 | Desg - OxCL - Fz - OI - D |
| SANTA CATARINA 8 Y 9 | 100 | 100 | OxCL - Fant - OI - Desg - D |
| SANTA CRUZ MEYEHUALCO | 120 | 62 | Desg - O3 - Fas - Fz - OI - D |
| TECOMITL 2 | 60 | 57 | OxCL - Desg - Fz - OI - D |
| XALTEPEC | 500 | 450 | Desg - O3 - Fg/a - Nitrazur - Fg/a/as - D |
| IZTAPALAPA 8 | 40 | 0 | Desg - Fz - OI - D |
| LA CALDERA | 700 | 580 | Hidro - Fz - O3 - D |
| PANTEON CIVIL | 180 | 100 | O3 - F1 - F2 - D |
| PURISIMA IZTAPALAPA 4 | 60 | 0 | Desg - O3 - OI - D |
| VIGA 2 | 40 | 40 | Fz - OxCl - OI - D |

Simbología:

OI: Ósmosis Inversa

O3: Oxidación con Ozono

OxCl: Oxidación con hipoclorito de sodio

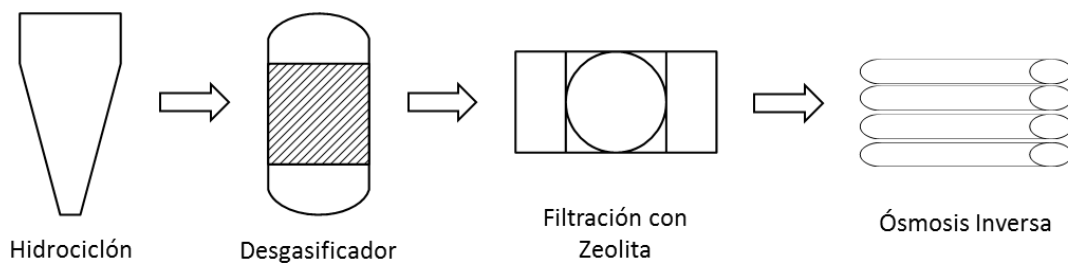
Desg: Desgasificador

Hidro: Hidrociclón

D: Desinfección con hipoclorito de sodio

F: Filtración con Zeolita, Grava, Arena sílica, Carbón activado, Arena, Antracita

Los principales arreglos que se presentan en las plantas potabilizadoras son las mostradas en la Figura 4-2.



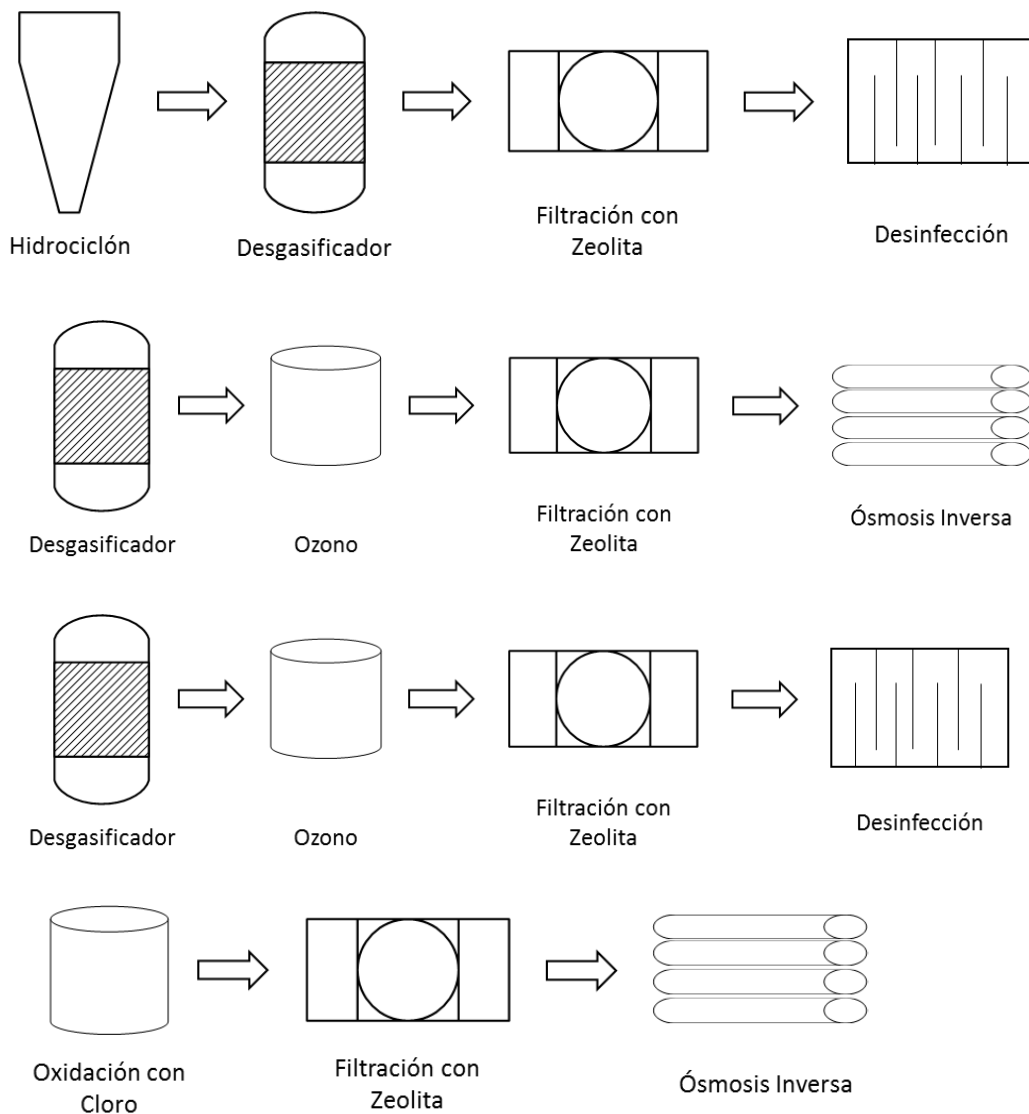


Figura 4-2. Principales arreglos en las plantas potabilizadoras

Como se observa en la Figura 4-2, dependiendo de la calidad del agua de los pozos que las abastecen, se tienen distintas operaciones para potabilizar el agua. Se incluyen los hidrociclones ya que se ha reportado la presencia de arenas y los desgasificadores para disminuir el ácido sulfhídrico que le proporciona el olor a huevo podrido al agua.

Las zeolitas son minerales de origen volcánico permite la filtración de agua potable en filtros de lecho profundo, reducen la acidez del agua y tienen una mayor capacidad de retención debido a que posee una mayor área superficial.

La ósmosis inversa es una tecnología de membrana que permite eliminar la salinidad del agua. Se basa en un fenómeno de difusión a través de una membrana semipermeable que facilita el paso de gases disueltos y moléculas sin carga electrostática de bajo peso molecular.

La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. La destrucción y/o desactivación de los microorganismos supone el final de la reproducción y crecimiento de los mismos. La desinfección se logra mediante desinfectantes químicos y/o físicos. Estos agentes también extraen contaminantes orgánicos del agua que son nutrientes o cobijo para los microorganismos. Los desinfectantes no solo deben matar a los microorganismos, sino que deben tener un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para evitar el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua. Los compuestos químicos comúnmente usados para la desinfección del agua son el Cloro (Cl_2), Dióxido de cloro (ClO_2), Hipoclorito (OCl) y Ozono (O_3).

En la Figura 4-5 se muestra la ubicación de las plantas potabilizadoras dentro de la alcaldía.

4.2.3 Almacenamiento

La infraestructura destinada al almacenamiento del agua para su posterior distribución, según la Dirección de Servicios Urbanos de Iztapalapa, se compone de cerca de 40 tanques, en algunos se lleva a cabo un rebombado para distribuir a la población, cada uno abastece un área delimitada y con la cantidad almacenada se lleva a cabo el tandeo en la alcaldía. Sin embargo, la complejidad de la red no permite delimitar las áreas que son abastecidas por ellos ni la población que es abastecida. Se observa que la mayoría de los tanques se encuentran distribuidos en la zona cercana a la Sierra de Santa Catarina, ya que son las zonas con una mayor altitud y permiten una mejor operación.

Los operadores del sistema reportan que las condiciones de los tanques no son las óptimas para la operación, en algunos no se tiene limitada la entrada a personas ajenas a la operación y esto favorece el ingreso de contaminantes.

En la Figura 4-6 se observa la ubicación de los tanques de almacenamiento y rebombado.

4.2.4 Distribución

La distribución del agua en la alcaldía se lleva a cabo principalmente por medio de tubería subterránea, se tienen distintos diámetros de tubería (de 6 in hasta 48 in), pues corresponden al caudal que transita por ella. Parte de la población es abastecida por camiones cisterna pues frecuentemente se presentan fugas en la red de abastecimiento y el recurso no es suficiente.

Mediante geoprocetos aplicados con ayuda del programa ArcGis 10.3 y calculadores geométricos fue posible determinar las características físicas de la tubería, la alcaldía tiene 849.31 kilómetros de tubería en total. Las características correspondientes a la distribución se muestran en la Tabla 4-2. Características de la distribución de la tubería en Iztapalapa.

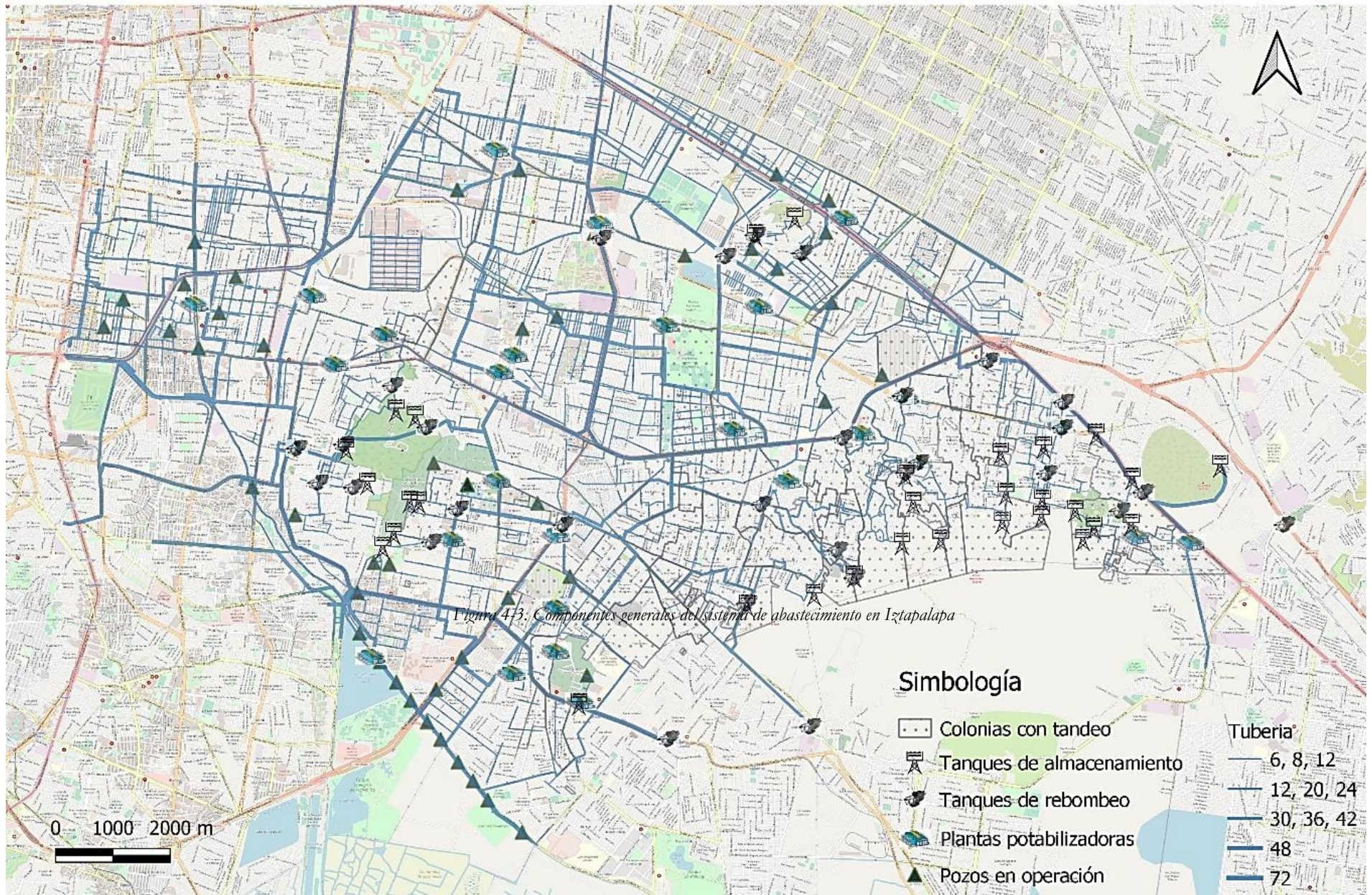
Tabla 4-2. Características de la distribución de la tubería en Iztapalapa

| Material | Km | % | Diámetro (pulgadas) | Km | % | Diámetro | Km | % |
|---------------------------------|--------|-------|---------------------|--------|-------|----------|-------|------|
| Fibrocemento | 614.91 | 72.40 | 6 | 291.61 | 34.33 | 30 | 6.74 | 0.79 |
| Concreto compactado con rodillo | 0.25 | 0.03 | 8 | 7.71 | 0.92 | 36 | 15.66 | 1.84 |
| Concreto reforzado | 49.16 | 5.79 | 10 | 0.52 | 0.06 | 42 | 5.53 | 0.65 |
| Hierro fundido | 3.35 | 0.39 | 12 | 362.89 | 42.73 | 48 | 83.69 | 9.85 |
| Hierro galvanizado | 0.78 | 0.09 | 20 | 65.26 | 7.68 | 72 | 6.94 | 0.82 |
| Polietileno de alta densidad | 180.22 | 21.22 | 24 | 2.76 | 0.33 | | | |
| Policloruro de vinilo | 0.64 | 0.08 | | | | | | |

Total 849.31 kilómetros

La Figura 4-7 muestra el diámetro y material de la red de distribución.

Infraestructura hidráulica en Iztapalapa



Localización de pozos en Iztapalapa

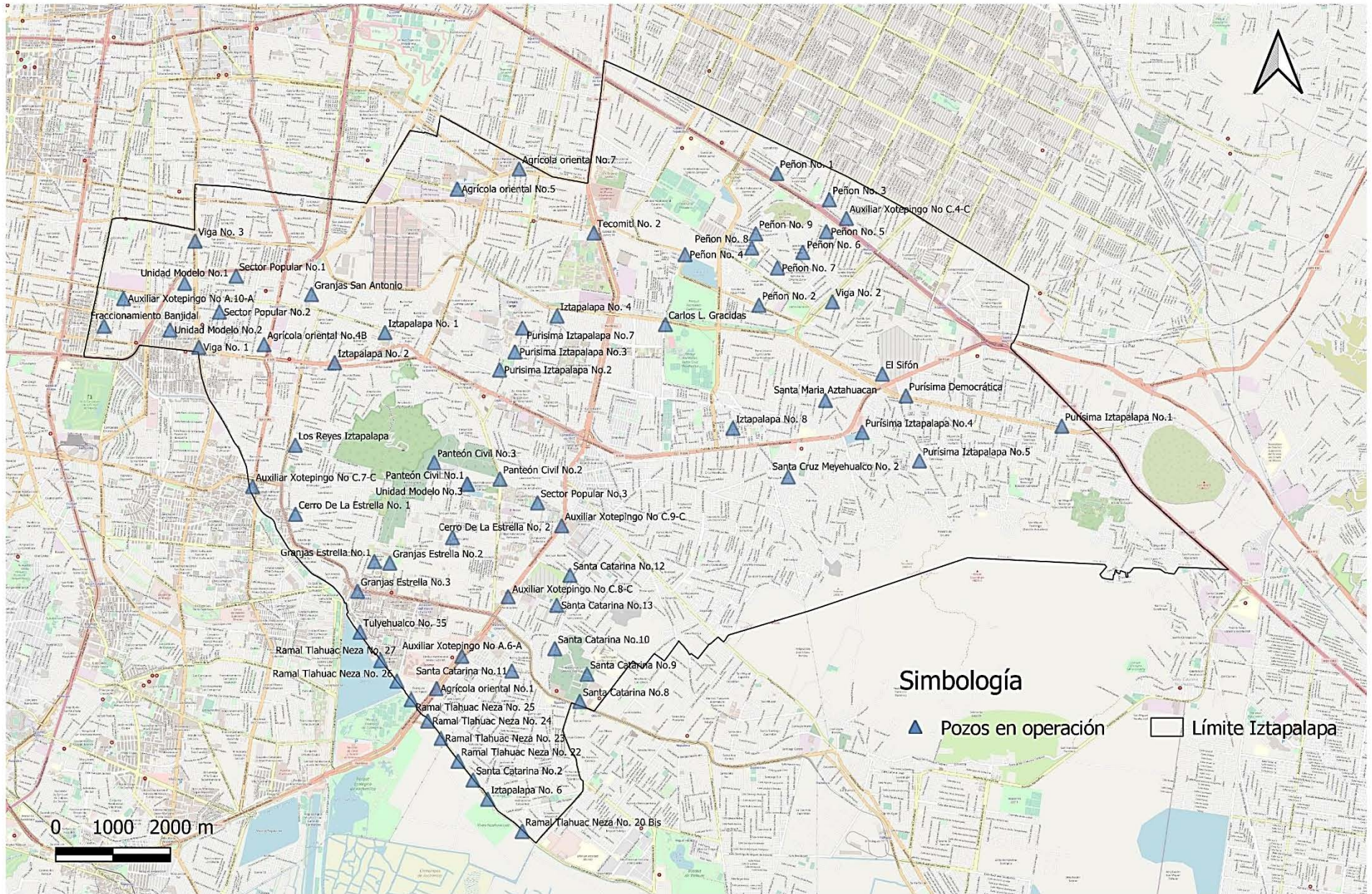


Figura 4.4. Pozos en Iztapalapa

Plantas potabilizadoras en Iztapalapa

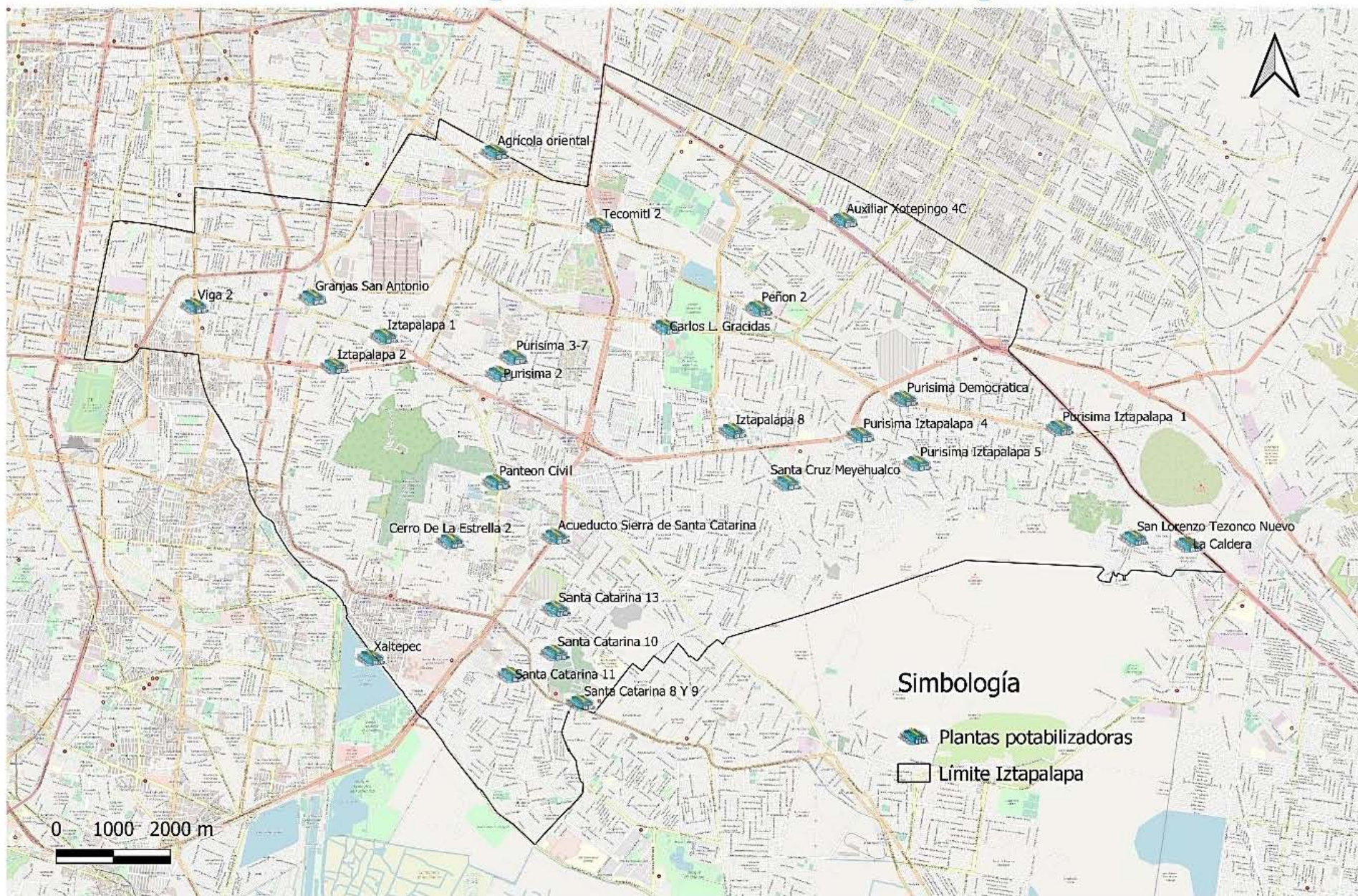


Figura 4-5. Plantas Potabilizadoras en Iztapalapa

Localización de tanques en Iztapalapa

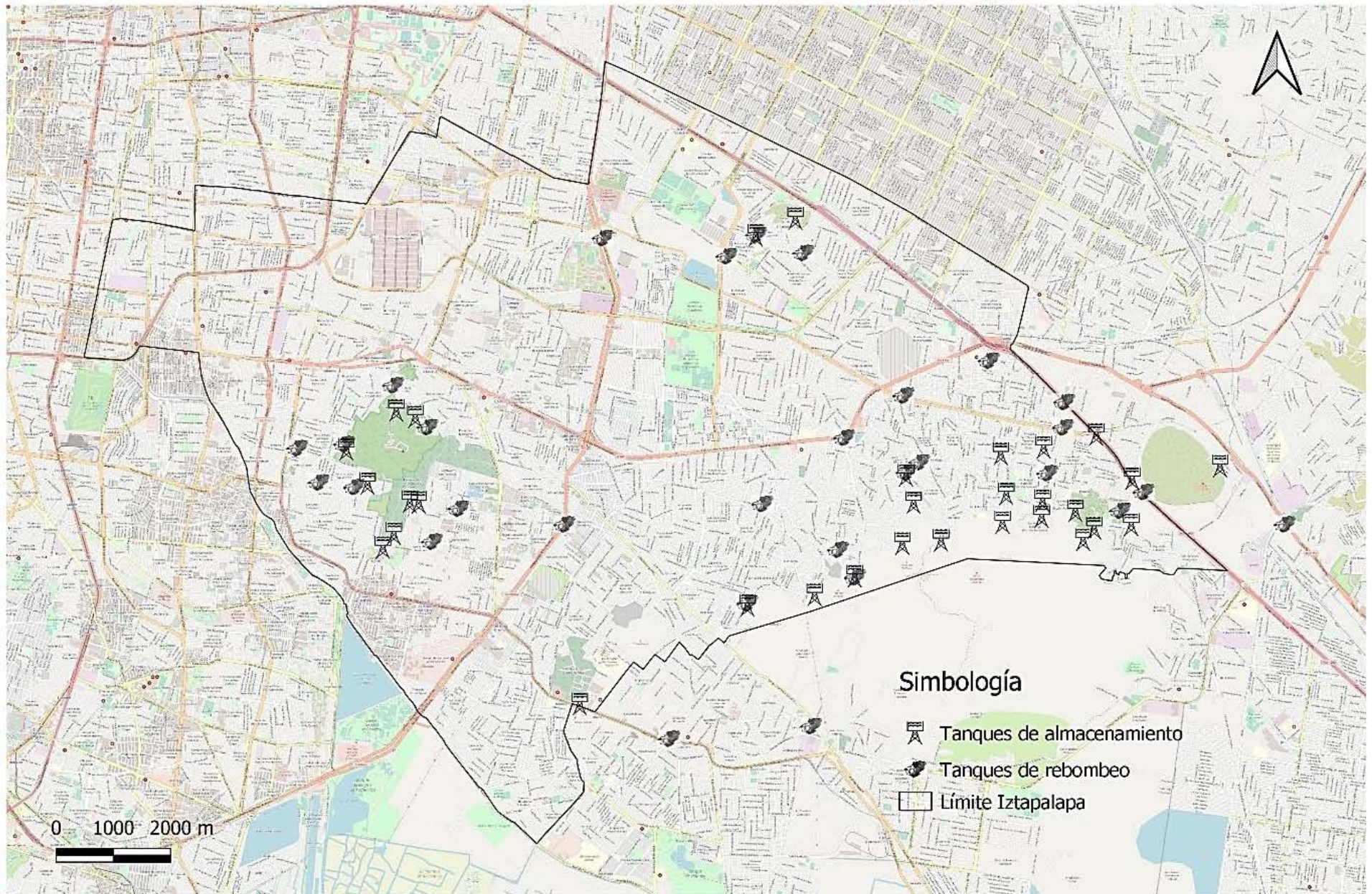


Figura 4-6. Tanques de almacenamiento y bombeo en Iztapalapa

Material y diámetro de tubería en Iztapalapa

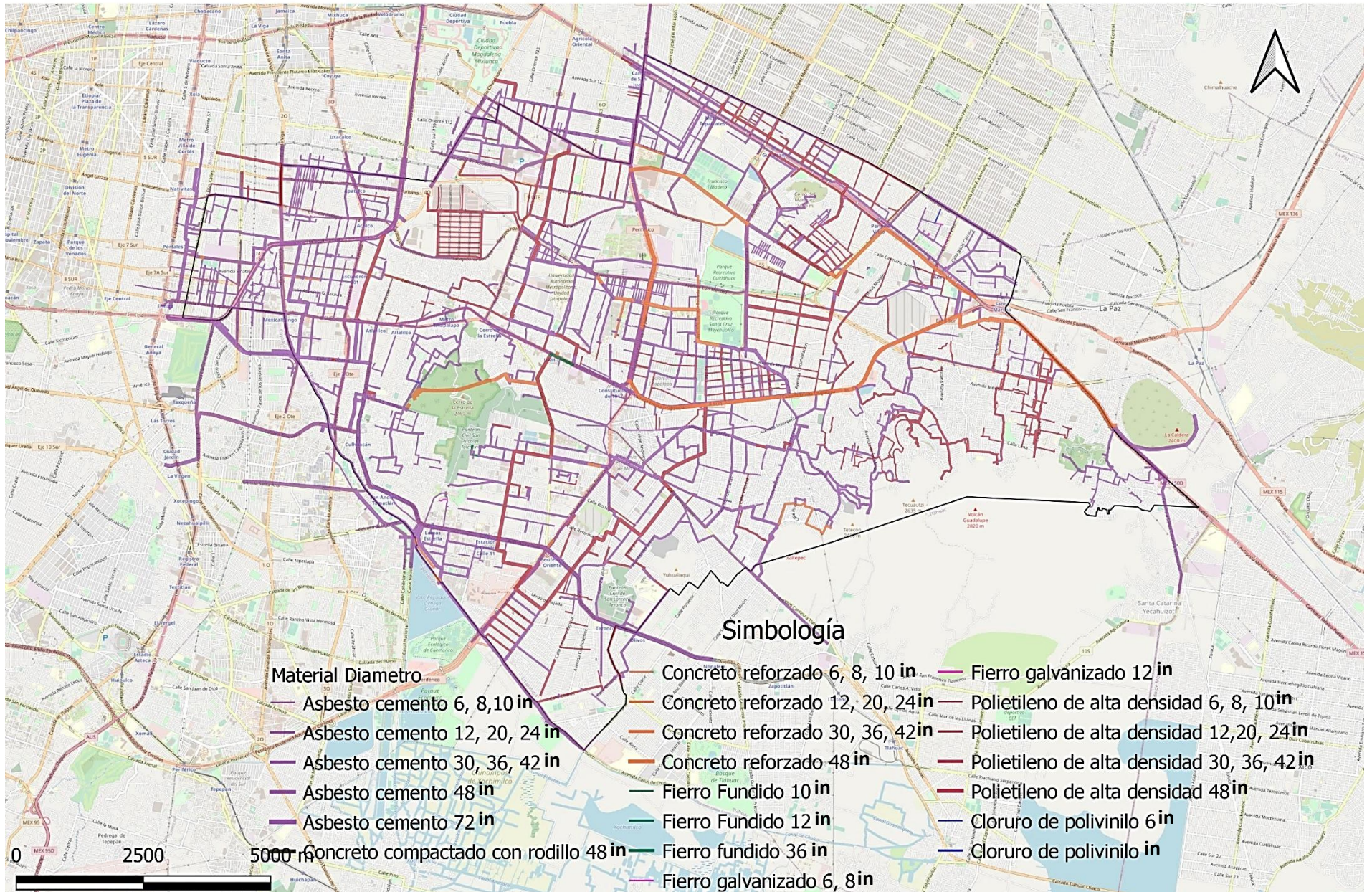


Figura 4-7. Material y diámetro de la tubería

4.3 Identificación y clasificación de eventos de falla

4.3.1 Factores externos

4.3.1.1 *Riesgo geológico*

La distribución de la deformación de la alcaldía Iztapalapa no es homogénea y está influenciada principalmente por la presencia de las zonas volcánicas de la Sierra de Santa Catarina y Peñón del Marqués: el suelo de Iztapalapa se hunde con respecto a su nivel horizontal original desde la mitad de la década de 1950, cuando inició la extracción de agua subterránea (Nájera, 2013). Estas discontinuidades se representan debido a que son una fuente importante de riesgo para la continuidad del servicio. En la Figura 4-8 se observa la clasificación de este.

4.3.1.2 *Hundimientos*

Como un antecedente histórico se sabe que gran parte de la Ciudad de México ha sido afectada por hundimientos diferenciales en el suelo, los cuales han sido relacionados con la sobreexplotación del acuífero (SPC, 2014). En Iztapalapa se ha monitoreado el hundimiento por varias entidades como el Laboratorio de Geoinformática en el Instituto de Ingeniería, la Secretaría de Gestión de Riesgos y Protección Civil y el Centro Nacional de Prevención de Desastres, esta información ha establecido los rangos de hundimiento para su clasificación. Los hundimientos diferenciales pueden observarse en la Figura 4-9.

4.3.1.3 *Zonas sísmicas*

Iztapalapa se encuentra ubicada en las zonas sísmicas intermedias, en donde se registran sismos no tan frecuentemente, son zonas afectadas por altas aceleraciones, la mayoría de las colonias no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

En el Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México, las zonas sísmicas tienen la siguiente clasificación: Zona I (lomas), donde hay suelos de alta resistencia y poco compresibles, la amplificación de las ondas sísmicas es reducida y los movimientos son de poca duración. La Zona II (transición) presenta características intermedias entre la Zona I y la Zona III. Las Zonas III a, b, c y d, ubicadas en lago, son depósitos lacustres muy blandos y compresibles, con altos contenidos de agua, que favorecen la amplificación de las ondas sísmicas, siendo las últimas las de mayor riesgo.

La Zona IIIId es donde están los puntos con mayor riesgo en caso de un terremoto, de la alcaldía Iztapalapa se incluyen las colonias: Leyes de Reforma, Sideral, Reforma Educativa, Renovación, Chinampac de Juárez, Santa Martha Acatitla Sur y San Lorenzo Xicotencatl.

Durante el terremoto del 19 de septiembre de 1985, las tuberías subterráneas sufrieron más daño que las tuberías superficiales (Nájera, 2013). Durante el sismo ocurrido en 2017 se reportaba un aumento en el número de fugas a lo largo de la red en Iztapalapa, las cuales pasaron de ser 182 a 825, según reporta el diario Milenio el 27 de septiembre del 2017.

Los daños causados por un terremoto pueden ser extensos, el terremoto registrado en la Ciudad de México en septiembre de 1985 demostró el riesgo que sufre la infraestructura hidráulica ante un evento de este tipo. Durante este sismo se dejó de abastecer 7.6 m³/s en redes primarias y secundarias del sistema de agua potable, hubo escasez de agua como consecuencia de varias averías en el Acueducto Sur Oriente con 28 fracturas, se presentaron 167 fugas en la red primaria y 7 229 en la red secundaria (CONAGUA, 2015).

La clasificación de las zonas sísmicas puede observarse en la Figura 4-10.

4.3.1.4 *Inundaciones*

Las características geográficas de la alcaldía favorecen la presencia de zonas de inundación debido a la presencia de lluvias torrenciales y hundimientos. Las inundaciones pueden ser una fuente potencial de riesgo sanitario, en Iztapalapa han sido identificadas las zonas propensas a inundaciones por la Secretaria de Gestión Integral de Riesgos y con ello se realizan los mapas de vulnerabilidad y peligro. Las inundaciones pueden ser causadas por deficiencias en el drenaje o por falta de drenaje pluvial, además de los hundimientos diferenciales debido a la extracción excesiva.

De acuerdo con el Atlas de Riesgo de la Ciudad de México, la alcaldía de Iztapalapa es la que presenta un mayor número de zonas con un riesgo muy alto de padecer inundaciones, el atlas fue elaborado con el análisis de lluvias e inundaciones ocurridas en los últimos cinco años.

Las mayores afectaciones podrían estar en Santa Martha Acatitla, Santa Cruz Meyehualco, Guadalupe del Moral y Granjas San Antonio debido a que estas zonas presentan las cotas más bajas y los hundimientos de mayor magnitud. Las áreas que son susceptibles a inundaciones se muestran en la Figura 4-11.

4.3.1.5 *Tiraderos clandestinos*

La Secretaría de Medio Ambiente proporcionó, en el 2019, la identificación de 220 tiraderos clandestinos en la alcaldía de Iztapalapa, al ser una fuente importante de contaminación para el agua subterránea e ingreso de contaminantes orgánicos a la tubería se han considerado también en los factores externos (SEDEMA, 2019). La presencia de los tiraderos clandestinos se observa en la Figura 4-12.

Las características de los tiraderos aquí mostrados no están del todo claras debido a que se desconoce la magnitud y el contenido de éste, y el problema de infiltración de nitrógeno amoniacal y la alteración de la calidad del agua debido a esto es muy importante y debe considerarse. De conocerse las condiciones en las que se encuentran los tiraderos la clasificación del riesgo de estos se mejoraría.

4.3.1.6 *Grado de marginación*

El grado de marginación como medida indirecta de la vulnerabilidad social es central para diferenciar la gravedad de los impactos de eventos de riesgo entre distintos grupos de personas

El catálogo de localidades que realiza SEDESOL reporta para la alcaldía de Iztapalapa un grado de marginación municipal muy bajo, sin embargo, en la Figura 4-13 se observa que algunas colonias pertenecen a la clasificación con un grado de marginación alto y muy alto.

Con un millón 800 mil habitantes la alcaldía de Iztapalapa ocupa el cuarto lugar con el menor grado de marginación de las alcaldías de la Ciudad de México, además, 63 mil personas viven en condiciones de pobreza extrema (SEDESOL, 2013).

El crecimiento desmedido en las periferias de la alcaldía, principalmente en la Sierra de Santa Catarina, con nivel de marginación alta, es la zona que presenta mayores problemas de distribución de agua pues no existe la infraestructura necesaria para abastecer estos asentamientos (Iztapalapa, 2011).

Riesgo geológico

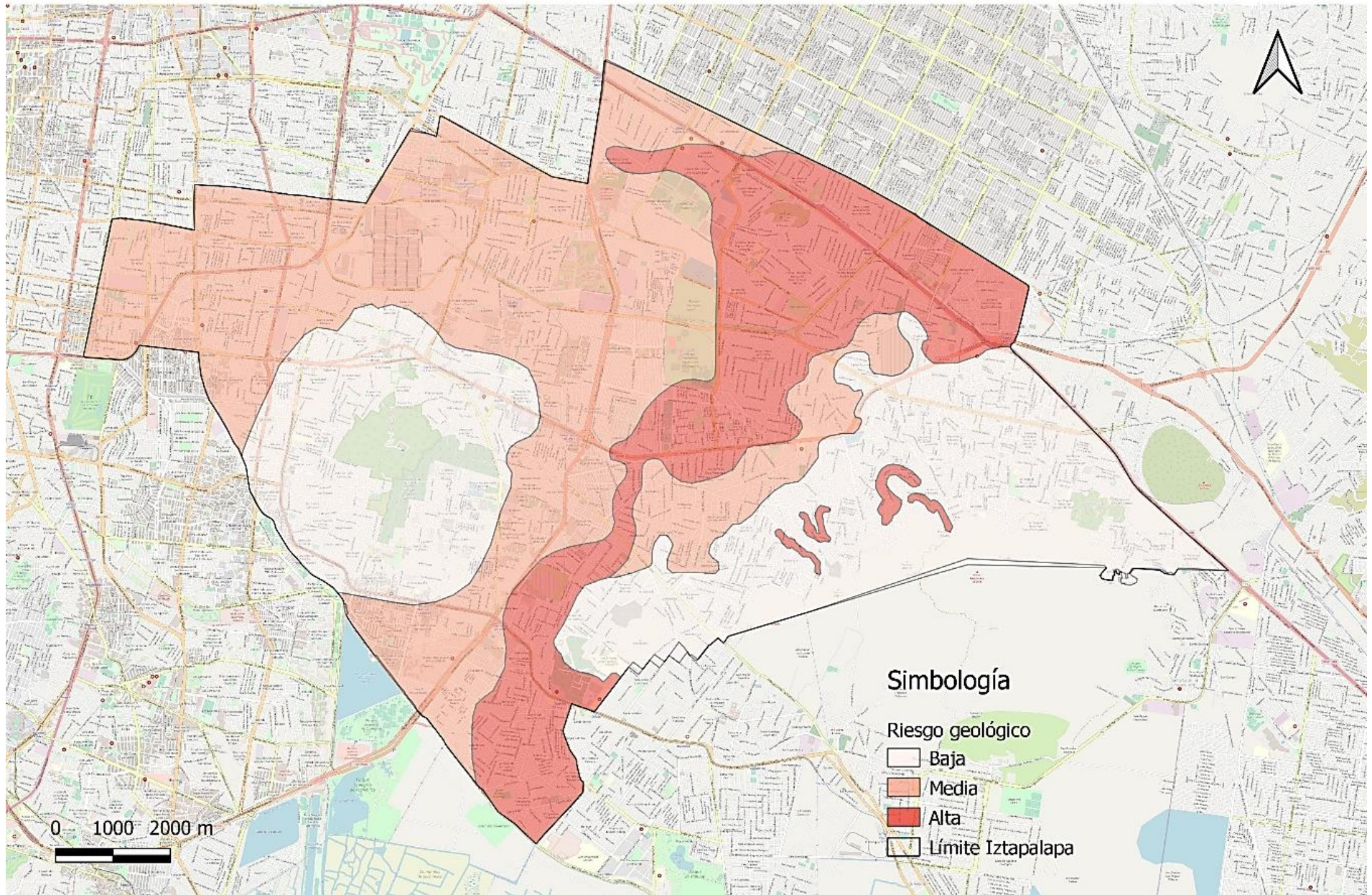


Figura 4-8 Riesgo geológico. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010

Hundimiento

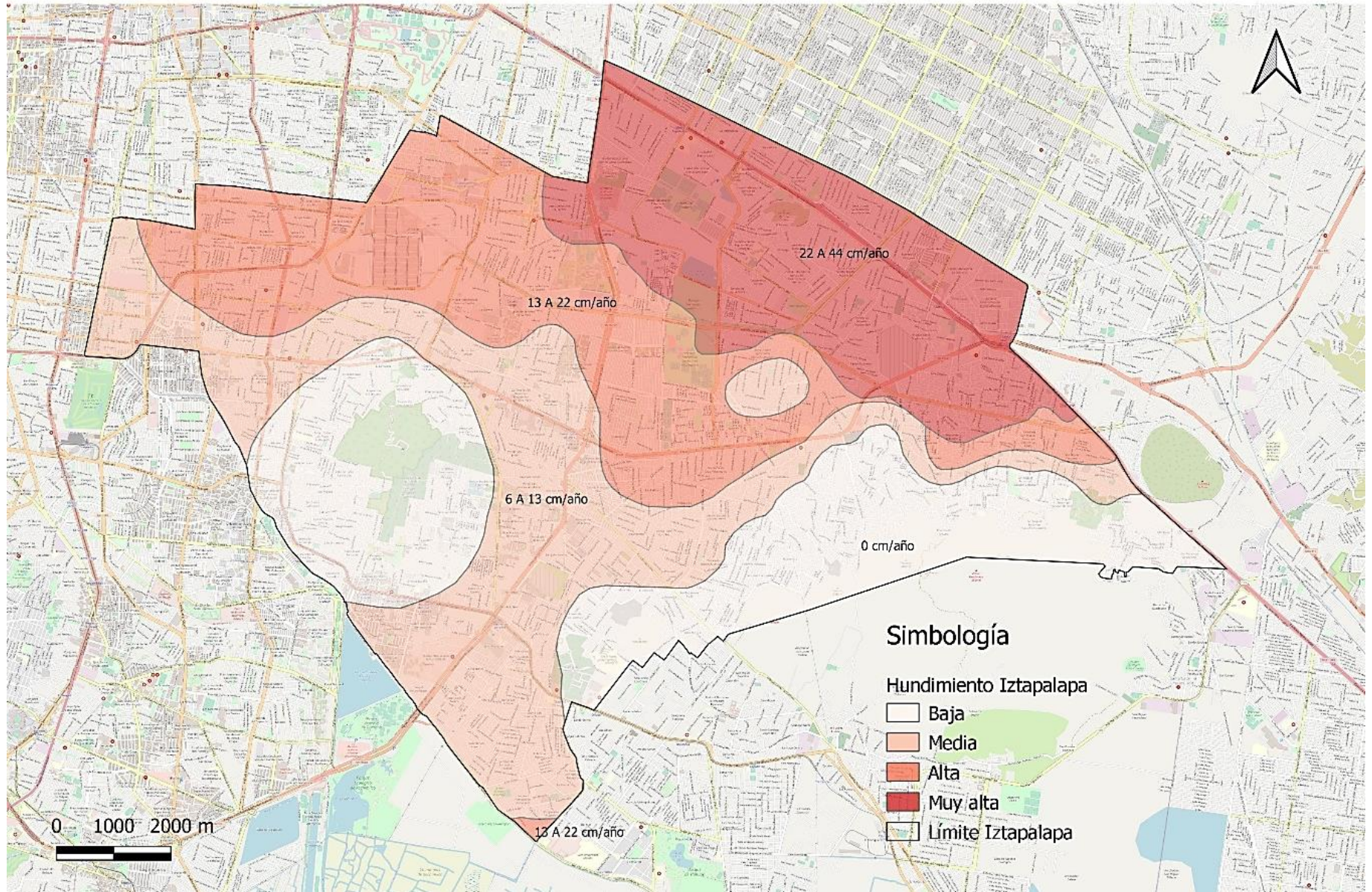


Figura 4-9. Riesgo por hundimientos. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010

Zonas sísmicas

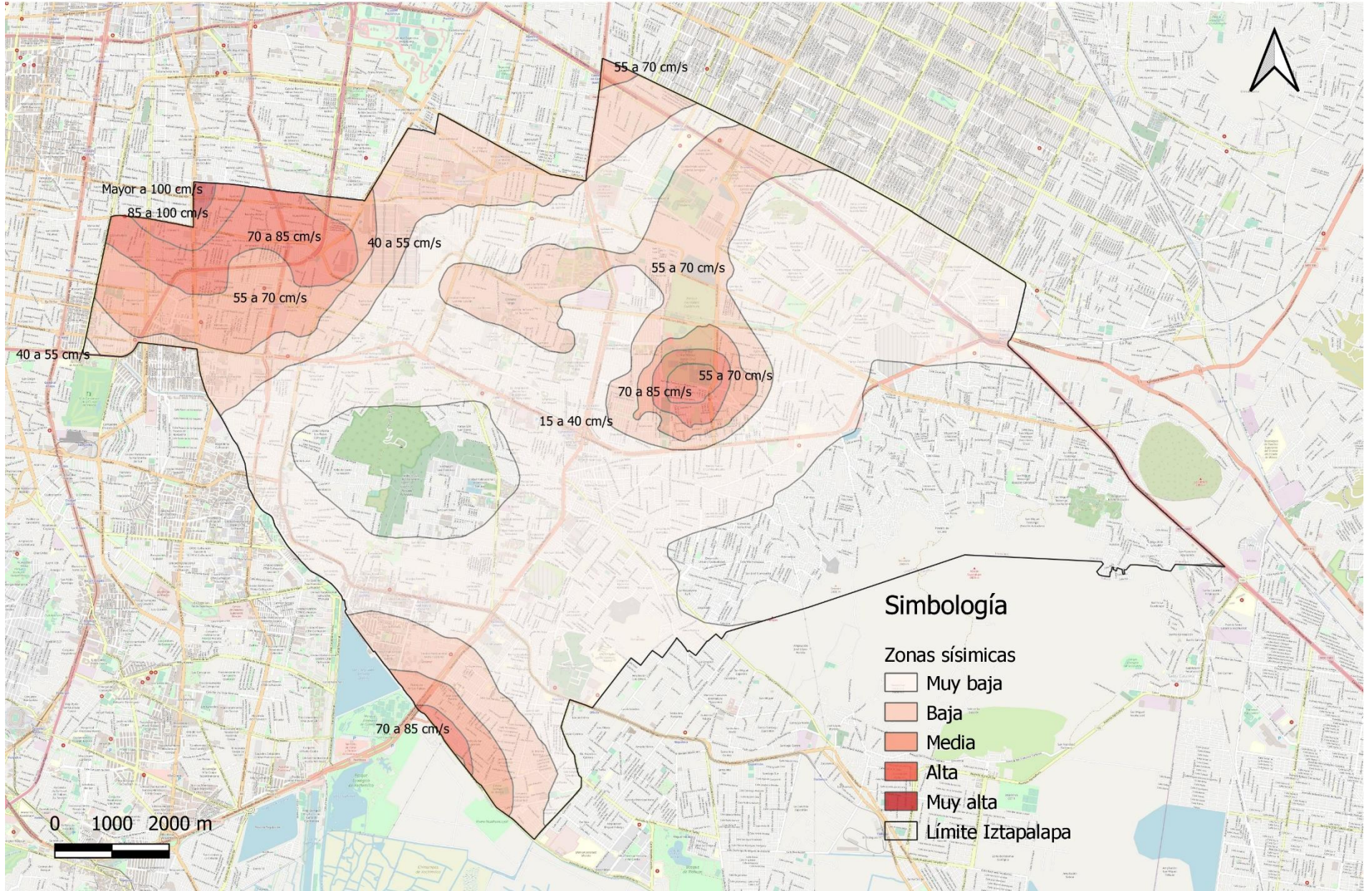


Figura 4-10. Zonas sísmicas. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010

Zonas de inundación en Iztapalapa

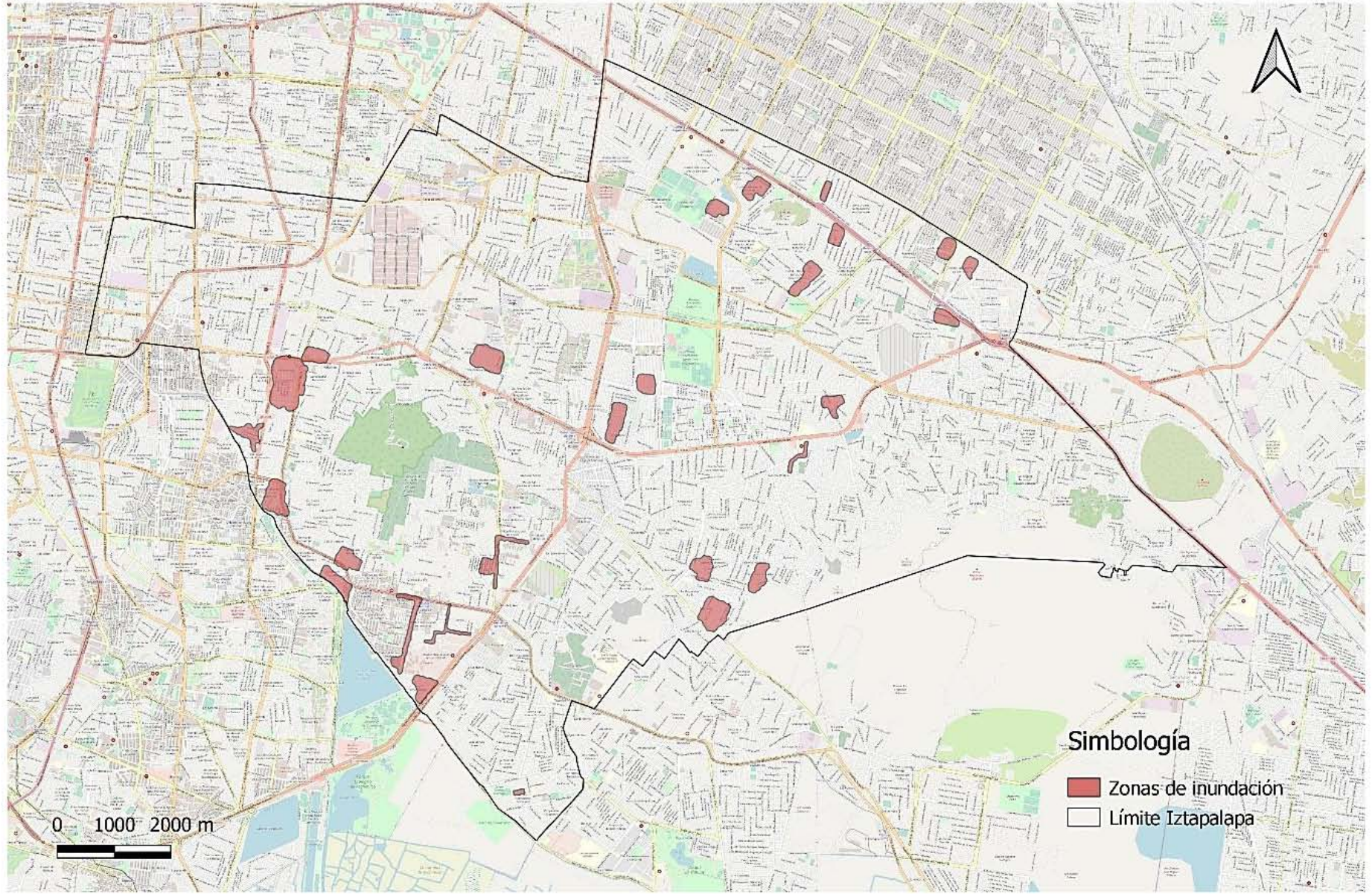


Figura 4-11. Zonas de Inundación. Adaptación propia con datos de la SCP, 2010

Tiraderos clandestinos

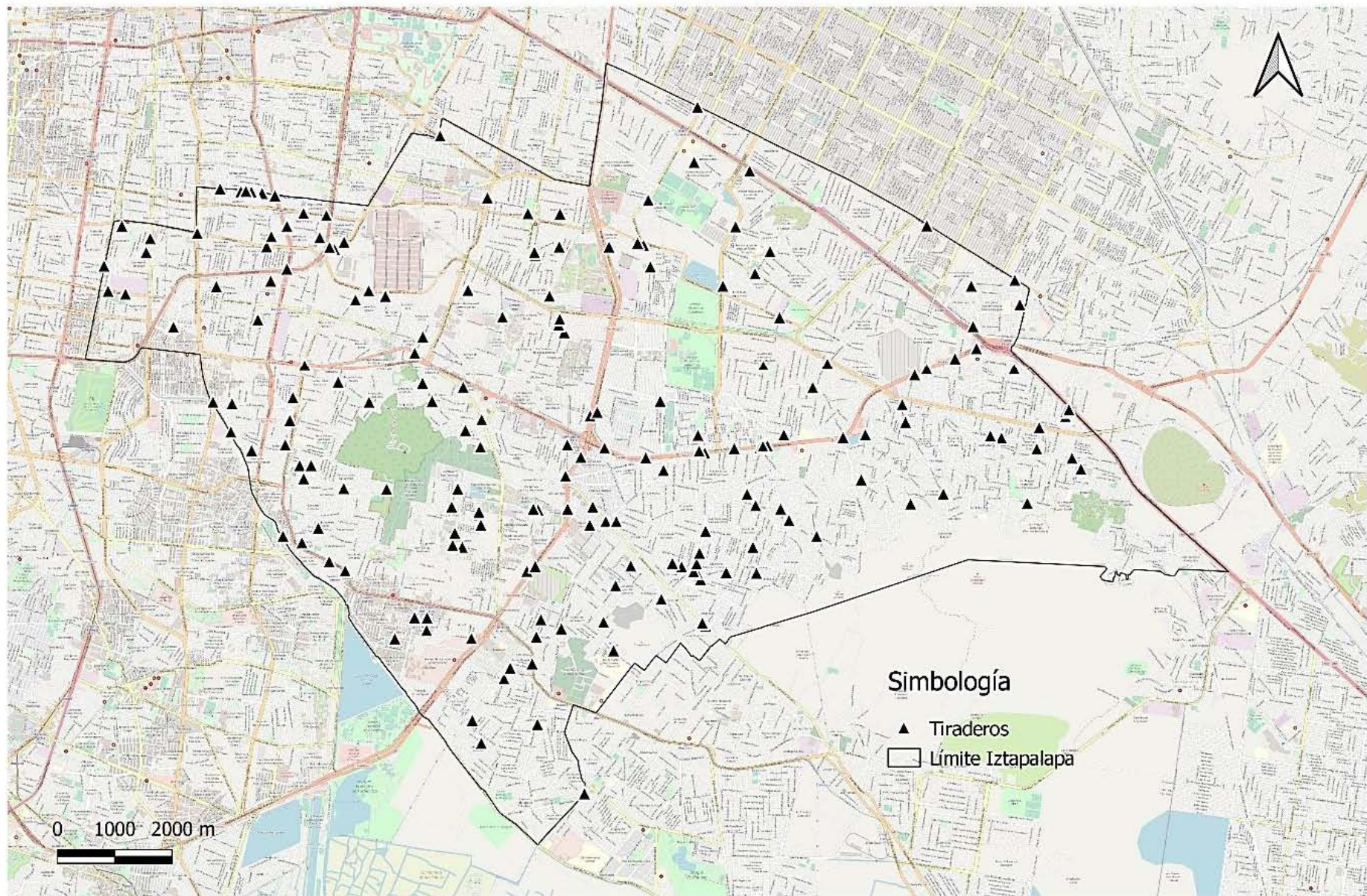


Figura 4-12. Tiraderos clandestinos. Adaptación propia con datos de la SEDEMA, 2019

Grado de marginación urbana

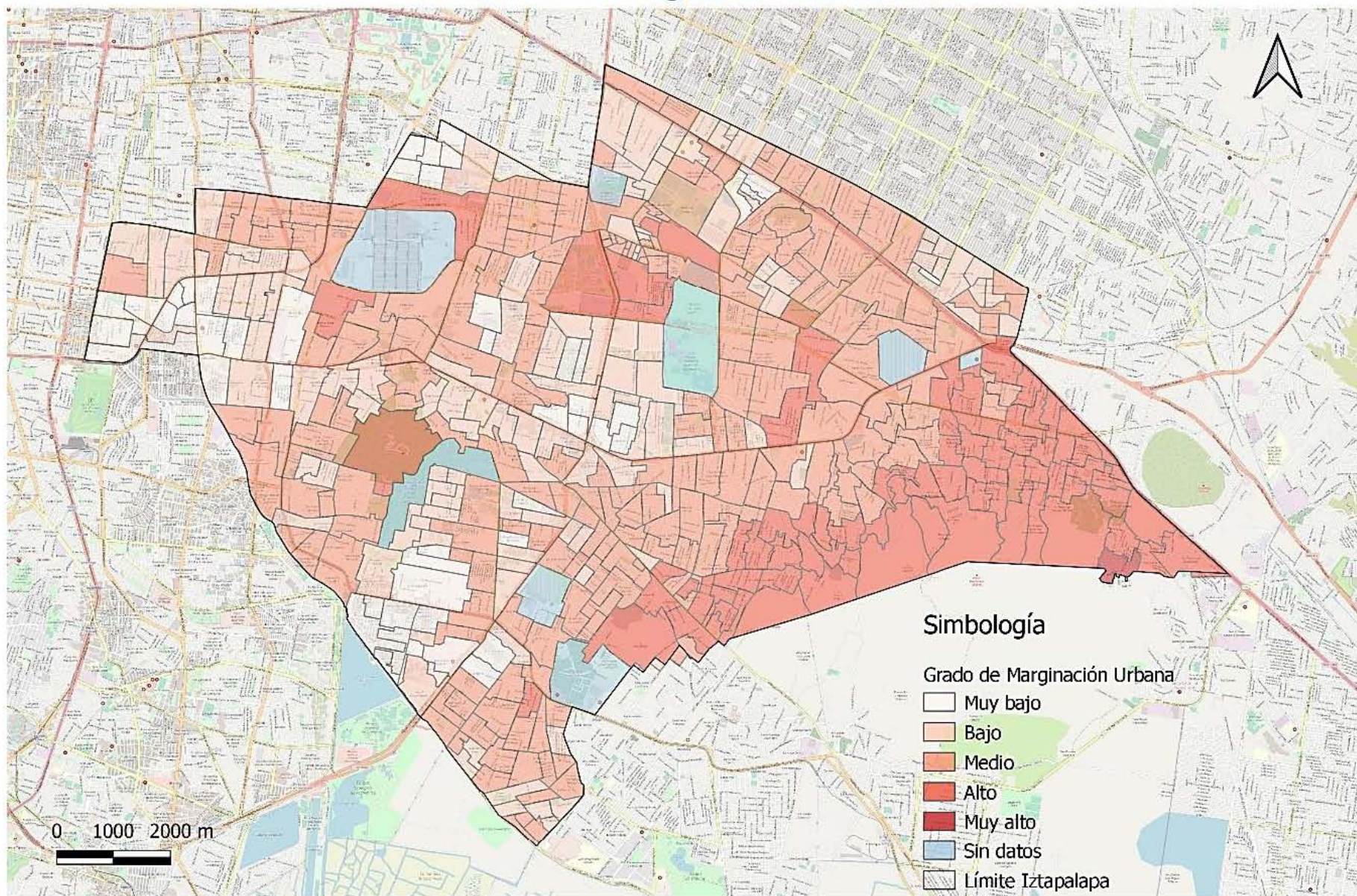


Figura 4-13 Grado de marginación urbana. Adaptación propia con datos del Gobierno de la Ciudad de México, 2010

4.3.2 Factores internos

4.3.2.1 Pozos

Para la clasificación del riesgo en la componente fuente, que está compuesta principalmente por pozos de extracción subterránea dentro del área que comprende la alcaldía, caudal proveniente del sistema Cutzamala y tres baterías de pozos externos a la alcaldía, provenientes de Mixquic, Xochimilco y otra ubicada a lo largo de Canal de Chalco.

En la alcaldía de Iztapalapa se reportan 71 pozos en operación, sin embargo, 37 de ellos, el 52%, no presentan datos de calidad, los pozos que no presentan datos se clasificaron en riesgo medio para evitar sobrestimar o subestimar los riesgos y amortiguar la incertidumbre de riesgo.

En la Figura 4-14 se encuentra la localización de los pozos en Iztapalapa, considerando los pozos en operación y los que reportan datos.

Los parámetros químicos que se presentan con mayor concentración y frecuencia en algunos pozos son el hierro, manganeso y nitrógeno amoniacal, en la Tabla 4-3 se muestran los datos de las concentraciones de los parámetros que con mayor frecuencia rebasan la NOM-127-SSA1-1993 con modificación en el año 2000. Las concentraciones que rebasan los límites máximos permisibles se muestran en formato negritas.

En la Figura 4-15, Figura 4-16, Figura 4-17, Figura 4-18 y Figura 4-19 se muestran las concentraciones en los pozos destacando también aquellos donde los parámetros sobrepasan la norma.

Tabla 4-3 Calidad del agua en Pozos (2019)

| Nombre | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso total (mg/L) | Turbiedad (UTN) | Porcentaje final | Categoría | Puntaje |
|------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|------------------|-----------|---------|
| <i>Norma</i> | 20.0000 | 0.5000 | 0.3000 | 0.1500 | 5.0000 | | | |
| Agrícola oriental No.1 | 30.0000 | 1.0300 | 0.8014 | 1.9140 | 3.2000 | 90% | Alto | 3 |
| Agrícola oriental No.4B | 5.0000 | | | | 0.6300 | 0% | Bajo | 1 |
| Agrícola oriental No.5 | | | 0.8008 | 0.3370 | | 60% | Medio | 2 |
| Agrícola oriental No.7 | | | | | | | Medio | 2 |
| Auxiliar Xotepingo No A.10-A | | | | | | | Medio | 2 |
| Auxiliar Xotepingo No A.6-A | 25.0000 | 1.1600 | | | 0.5400 | 45% | Medio | 2 |
| Auxiliar Xotepingo No C.4-C | | | | | | | Medio | 2 |
| Auxiliar Xotepingo No C.7-C | 5.0000 | 0.1000 | 0.0300 | 0.0300 | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Auxiliar Xotepingo No C.8-C | 35.0000 | 0.4800 | | | 0.9100 | 15% | Bajo | 1 |
| Auxiliar Xotepingo No C.9-C | | | | | | | Medio | 2 |
| Carlos L. Gracias | | | | | | | Medio | 2 |
| Cerro De La Estrella No. 1 | | | | | | | Medio | 2 |
| Cerro De La Estrella No. 2 | | | | | | | Medio | 2 |
| El Sifón | | | | | | | Medio | 2 |
| Fraccionamiento Banjidal | 5.0000 | 0.1000 | 0.0300 | 0.0455 | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Granjas Estrella No.1 | 5.0000 | 0.1000 | 0.0300 | 0.0300 | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Granjas Estrella No.2 | 5.0000 | 0.1733 | 0.0300 | 0.0644 | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Granjas Estrella No.3 | 5.0000 | 0.1200 | 0.0300 | 0.0300 | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Granjas San Antonio | | | | | | | Medio | 2 |
| Iztapalapa No. 1 | | | | | | | Medio | 2 |
| Iztapalapa No. 2 | | | | | | | Medio | 2 |
| Iztapalapa No. 4 | | | | | | | Medio | 2 |
| Iztapalapa No. 6 | 5.0000 | 0.1700 | 0.3770 | 0.2762 | 1.6000 | 45% | Medio | 2 |
| Iztapalapa No. 8 | | | | 1.3910 | | 30% | Bajo | 1 |
| Los Reyes Iztapalapa | 5.0000 | 0.1000 | 0.0300 | 0.2044 | 0.5000 | 30% | Bajo | 1 |
| Panteón Civil No.1 | | 4.5233 | 4.5458 | 0.1337 | | 45% | Medio | 2 |
| Panteón Civil No.2 | | | | | | | Medio | 2 |
| Panteón Civil No.3 | 12.5000 | 2.4000 | 0.0885 | 0.1401 | 0.5850 | 30% | Bajo | 1 |

| Nombre | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso total (mg/L) | Turbiedad (UTN) | Porcentaje final | Categoría | Puntaje |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|------------------|-----------|---------|
| <i>Norma</i> | 20.0000 | 0.5000 | 0.3000 | 0.1500 | 5.0000 | | | |
| Peñón No. 1 | | | | | | | Medio | 2 |
| Peñón No. 2 | | | | | | | Medio | 2 |
| Peñón No. 3 | | | | | | | Medio | 2 |
| Peñón No. 4 | 20.0000 | 1.1600 | 0.0420 | 0.0300 | 0.5000 | 30% | Bajo | 1 |
| Peñón No. 5 | | | | | | | Medio | 2 |
| Peñón No. 6 | 25.0000 | 1.2300 | | | 0.5000 | 45% | Medio | 2 |
| Peñón No. 7 | 7.5000 | 0.9700 | 0.0300 | 0.0305 | 0.5000 | 30% | Bajo | 1 |
| Peñón No. 8 | | | | | | | Medio | 2 |
| Peñón No. 9 | 6.6667 | 0.6000 | 0.0382 | 0.0331 | 3.6667 | 30% | Bajo | 1 |
| Purísima Democrática | | | | | | | Medio | 2 |
| Purísima Iztapalapa No.1 | | | | | | | Medio | 2 |
| Purísima Iztapalapa No.2 | | | | | | | Medio | 2 |
| Purísima Iztapalapa No.3 | | | | | | | Medio | 2 |
| Purísima Iztapalapa No.4 | | | | | | | Medio | 2 |
| Purísima Iztapalapa No.5 | | | | | | | Medio | 2 |
| Purísima Iztapalapa No.7 | | | | | | | Medio | 2 |
| Ramal Tláhuac Neza No. 20 Bis | 5.0000 | 0.4600 | 0.1627 | 0.1749 | 0.6000 | 30% | Bajo | 1 |
| Ramal Tláhuac Neza No. 22 | 5.0000 | 0.9733 | 0.0512 | 0.2381 | | 60% | Medio | 2 |
| Ramal Tláhuac Neza No. 23 | 5.0000 | 0.1000 | 0.0413 | 0.2185 | 0.5000 | 30% | Bajo | 1 |
| Ramal Tláhuac Neza No. 24 | 5.0000 | 0.1633 | 0.1121 | 0.3190 | 0.5000 | 30% | Bajo | 1 |
| Ramal Tláhuac Neza No. 25 | 15.0000 | 0.1000 | 0.1573 | 0.0710 | 2.9500 | 0% | Bajo | 1 |
| Ramal Tláhuac Neza No. 26 | | | 0.1918 | 0.6499 | | 30% | Bajo | 1 |
| Ramal Tláhuac Neza No. 27 | 5.0000 | 0.1150 | 0.0645 | 0.7435 | 0.5000 | 30% | Bajo | 1 |
| Santa Catarina No.10 | | | | | | | Medio | 2 |
| Santa Catarina No.11 | | | | | | | Medio | 2 |
| Santa Catarina No.12 | | | | | | | Medio | 2 |
| Santa Catarina No.13 | | | | | | | Medio | 2 |
| Santa Catarina No.2 | 10.0000 | 0.6800 | 0.1753 | 0.2385 | 13.0000 | 70% | Alto | 3 |
| Santa Catarina No.8 | | | | | | | Medio | 2 |

| Nombre | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso total (mg/L) | Turbiedad (UTN) | Porcentaje final | Categoría | Puntaje |
|-----------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|------------------|-----------|---------|
| <i>Norma</i> | 20.0000 | 0.5000 | 0.3000 | 0.1500 | 5.0000 | | | |
| Santa Catarina No.9 | | | | | | | Medio | 2 |
| Santa Cruz Meyehualco No. 2 | 0.0000 | | 0.0300 | 0.0965 | | 0% | Bajo | 1 |
| Santa María Aztahuacan | | | | | | | Medio | 2 |
| Sector Popular No.1 | | | | | | | Medio | 2 |
| Sector Popular No.2 | | | | | | | Medio | 2 |
| Sector Popular No.3 | 37.5000 | 0.1800 | 0.0863 | 0.2692 | 3.4000 | 45% | Medio | 2 |
| Tecomitl No. 2 | | | | | | | Medio | 2 |
| Tulyehualco No. 35 | 5.0000 | 0.1000 | 0.0300 | 0.0408 | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Unidad Modelo No.1 | 5.0000 | | | | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Unidad Modelo No.2 | 5.0000 | 0.1000 | 0.0300 | 0.0843 | 0.5000 | 0% | Bajo | 1 |
| Unidad Modelo No.3 | 15.0000 | 0.3150 | 0.4868 | 1.2065 | 1.5250 | 45% | Medio | 2 |
| Viga No. 1 | | | | | | | Medio | 2 |
| Viga No. 2 | | | | | | | Medio | 2 |
| Viga No. 3 | 5.0000 | 0.1000 | 0.0609 | 0.2091 | 0.5000 | 30% | Bajo | 1 |

*Información de SACMEX compartida personalmente

Localización de pozos en Iztapalapa

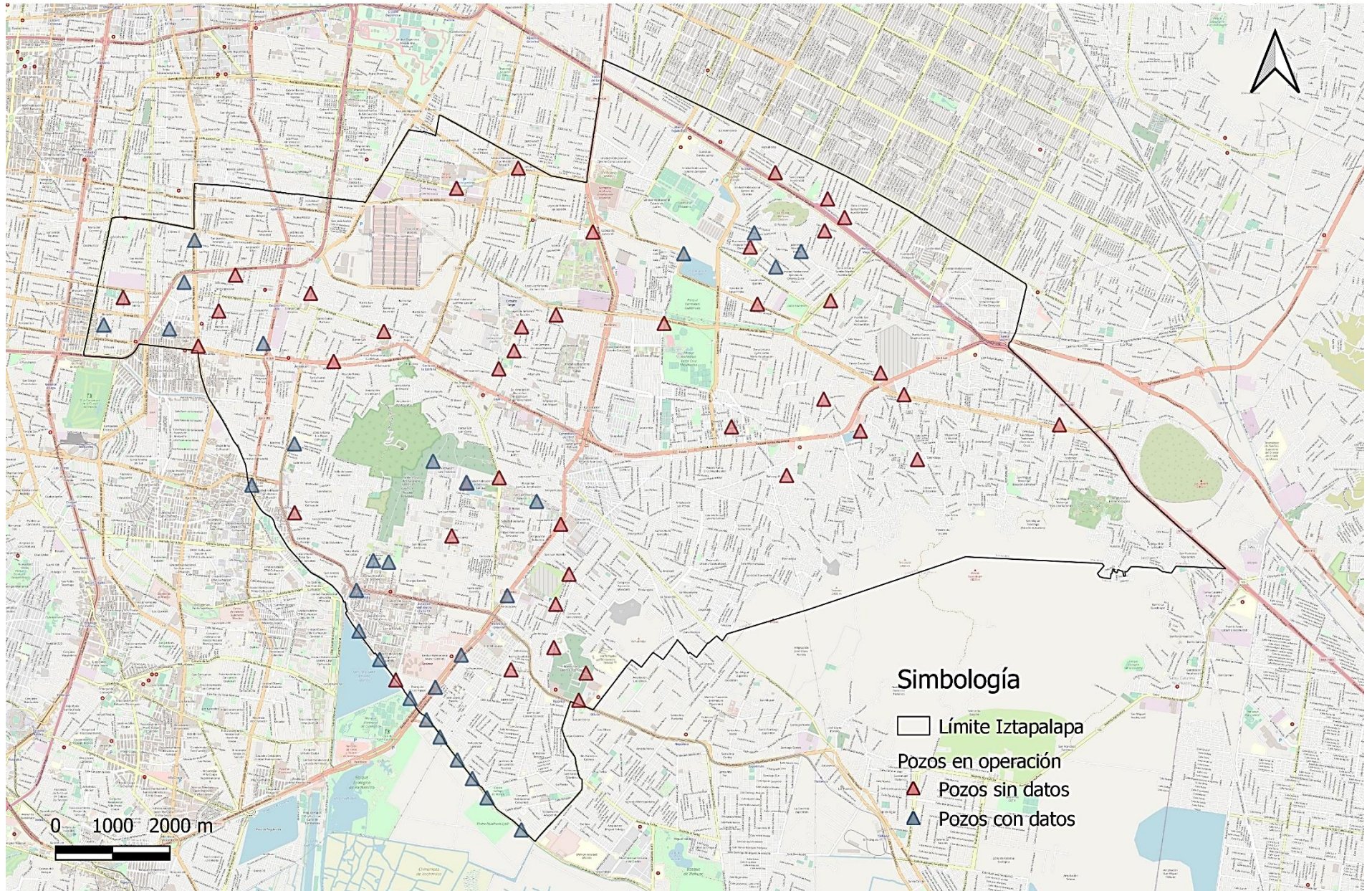


Figura 4.14 Pozos en operación

Turbiedad en pozos

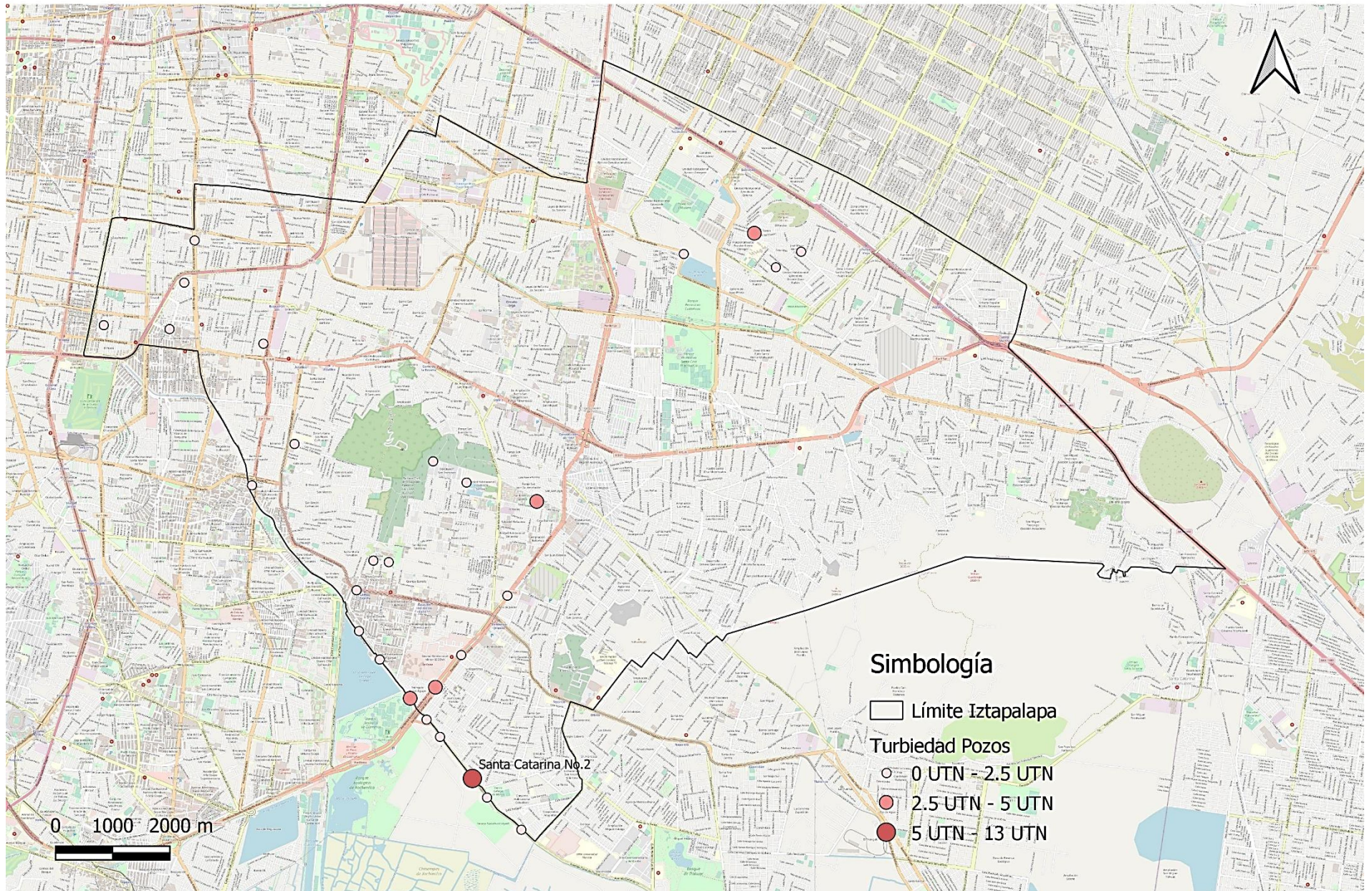


Figura 4-15 Turbiedad en pozos

Color en pozos

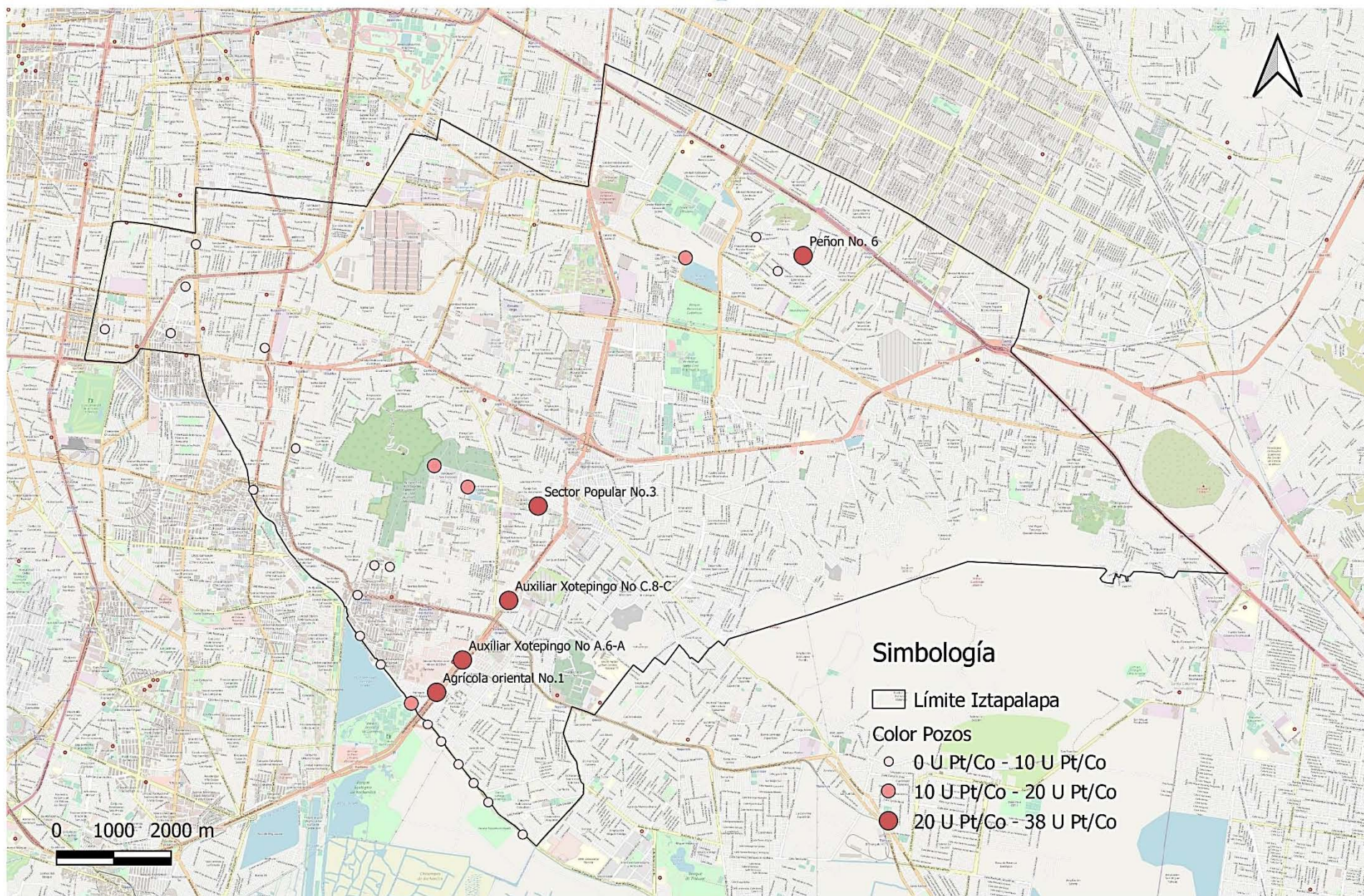


Figura 4-16 Color en pozos

Nitrógeno amoniacal en pozos

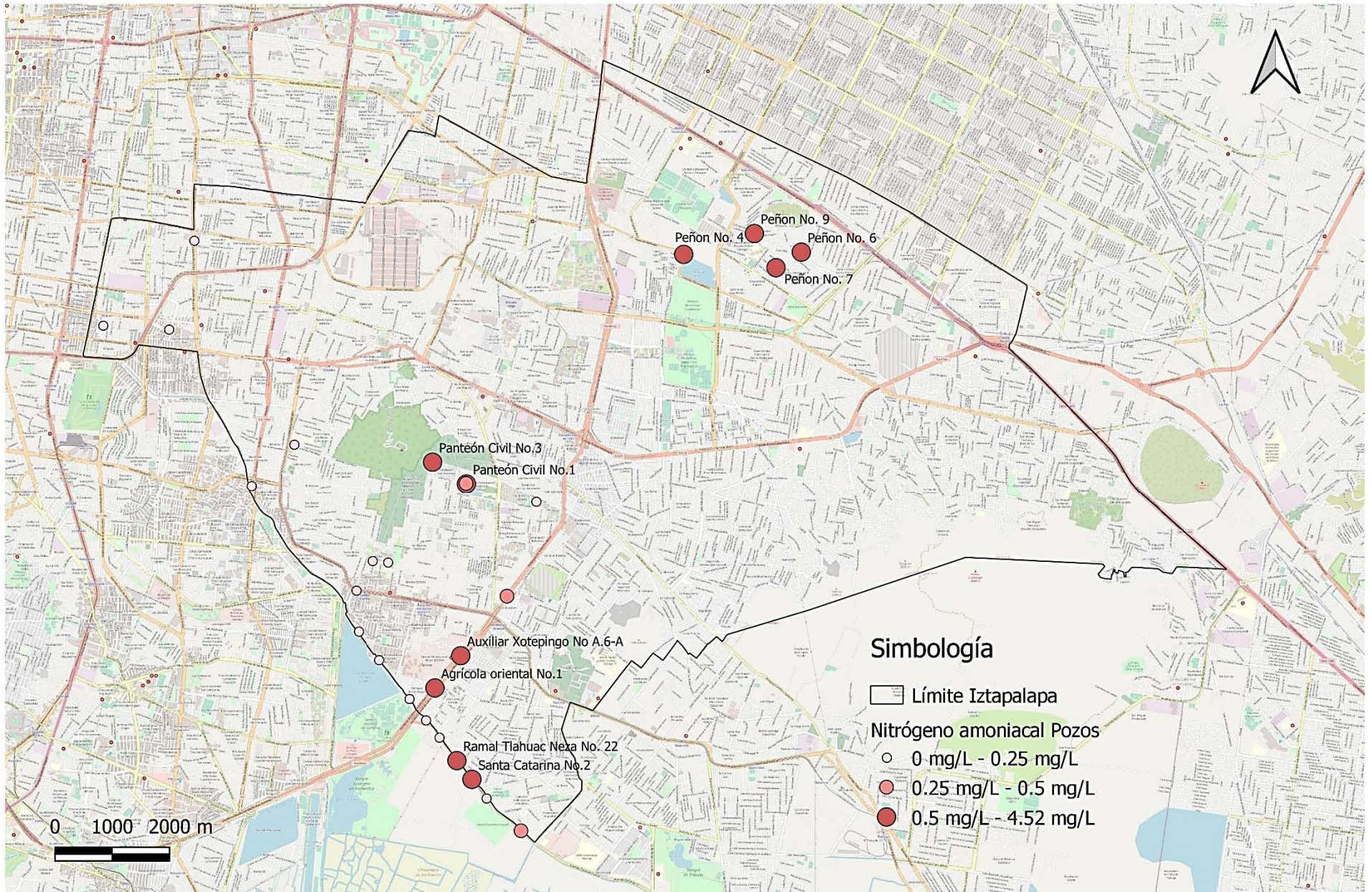


Figura 4-17 Nitrógeno amoniacal en pozos

Hierro en pozos

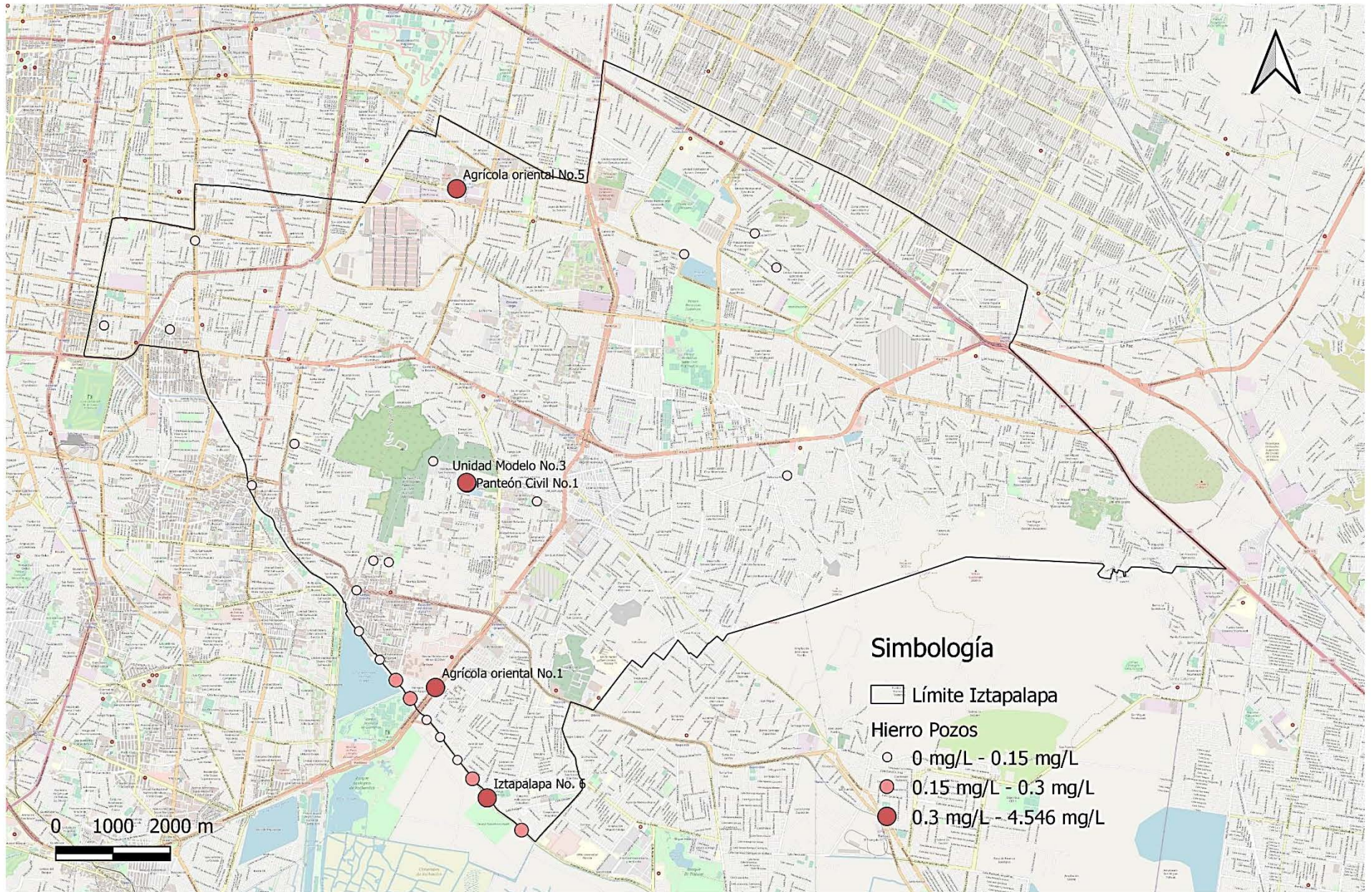


Figura 4-18 Hierro total en pozos

Manganeso en pozos

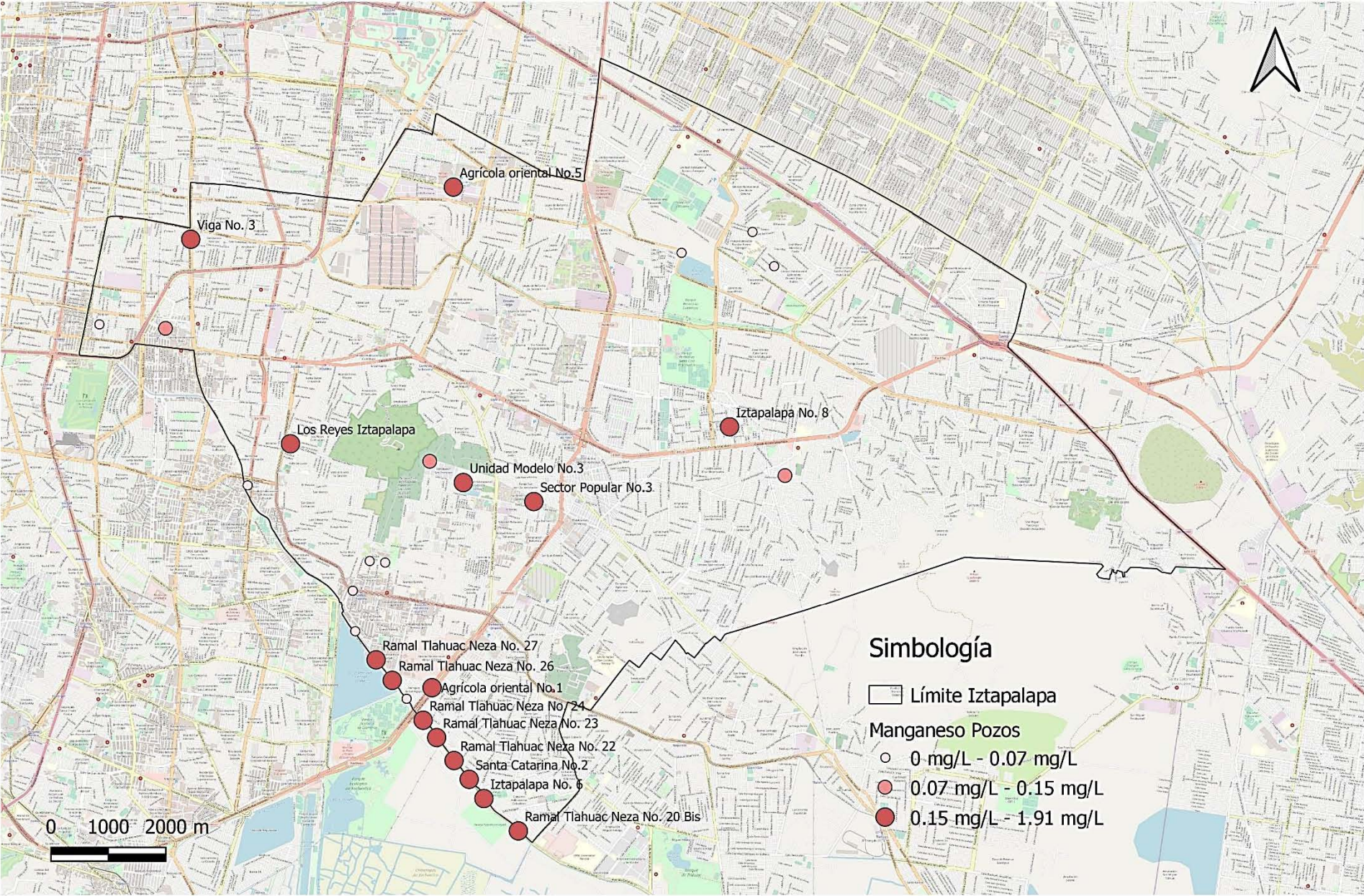


Figura 4-19 Manganeso en pozos

4.3.2.2 *Plantas potabilizadoras*

En la Tabla 4-4 se muestran las concentraciones de los parámetros analizados en el influente de las plantas potabilizadoras, en formato negritas se tienen los parámetros que sobrepasan la norma. Así mismo, en la Tabla 4-5 se muestra la concentración en el efluente de las plantas potabilizadoras y en la Tabla 4-6 se muestra la eficiencia de remoción calculada con los datos de concentración del influente y el efluente.

Se observa que en algunas plantas potabilizadoras la eficiencia de remoción es nula o negativa debido a que las concentraciones de salida son igual o mayores que las que ingresan, indicando un mal funcionamiento en su proceso.

Se observa que las potabilizadoras Acueducto de Sierra de Santa Catarina, Iztapalapa 1, Purísima Democrática, Purísima Iztapalapa 5, Santa Catarina 10 y Santa Catarina 13 son las potabilizadoras que con mayor frecuencia sobrepasan los límites máximos permisibles.

A partir de la Figura 4-20 y hasta la Figura 4-34 se observan las potabilizadoras que sobrepasan los límites máximos permisibles y aquellas potabilizadoras que tienen eficiencia negativa.

Tabla 4-4 Parámetros en el influente de las plantas potabilizadoras (2019)

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------|---------|-----------|
| | Norma | 5 | 20 | 0.5 | 0.3 | 0.15 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | | |
| Casa Blanca | Acueducto Sierra de Santa Catarina | 1.880 | 31.700 | 1.195 | 0.589 | 1.474 | 3 | Alto |
| Dr Alfonso Ortiz Tirado | Agrícola oriental | 0.960 | 5.000 | 0.415 | 0.326 | 0.328 | 1 | Bajo |
| ZU Santa Martha Acatitla Norte | Auxiliar Xotepingo 4C | 0.500 | 5.000 | 0.845 | 0.056 | 0.040 | 1 | Bajo |
| Santa Cruz Meyehualco | Carlos L. Gracidas | 0.520 | 13.300 | 0.960 | 0.046 | 0.030 | 1 | Bajo |
| San Juan Xalpa | Cerro De La Estrella 2 | 6.500 | 30.000 | 0.100 | | | 1 | Bajo |
| Granjas San Antonio | Granjas San Antonio | 0.770 | 10.000 | 0.560 | 0.200 | 0.860 | 2 | Medio |
| San Lucas | Iztapalapa 1 | 5.500 | 17.500 | 1.240 | 0.165 | 0.725 | 3 | Alto |
| Ricardo Flores Magón | Iztapalapa 2 | 0.500 | 15.000 | 0.220 | | | 1 | Bajo |
| Santa Cruz Meyehualco | Iztapalapa 8 | | | | | | 2 | Medio |
| San Francisco Apolocalco | La Caldera | | | | | | 2 | Medio |
| San Juan Xalpa | Panteón Civil | | | | | | 2 | Medio |
| Ejército de Agua Prieta | Peñón 2 | 0.500 | 6.700 | 1.582 | 0.030 | 0.053 | 1 | Bajo |

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------|---------|-----------|
| | Norma | 5 | 20 | 0.5 | 0.3 | 0.15 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | | |
| San Miguel | Purísima 2 | 1.600 | 27.500 | 0.720 | 0.074 | 0.208 | 2 | Medio |
| Leyes de Reforma 1ra Sección | Purísima 3-7 | 10.870 | 40.000 | 1.883 | 0.079 | 0.122 | 2 | Medio |
| 1a Ampliación Santiago Acahualtepec | Purísima Democrática | 1.480 | 120.000 | 6.000 | 0.041 | 0.032 | 3 | Alto |
| San Miguel Teotongo | Purísima Iztapalapa 1 | 0.620 | 70.000 | 6.860 | | | 2 | Medio |
| Xalpa | Purísima Iztapalapa 4 | | | | | | 2 | Medio |
| 2a Ampliación Santiago Acahualtepec | Purísima Iztapalapa 5 | 0.570 | 76.700 | 6.460 | 0.030 | 0.040 | 3 | Alto |
| Ampliación Emiliano Zapata | San Lorenzo Tezonco Nuevo | 1.400 | 50.000 | 1.970 | | | 2 | Medio |
| Panteón de San Lorenzo | Santa Catarina 8 Y 9 | 17.350 | 55.000 | 7.075 | 0.076 | 0.107 | 2 | Medio |
| Panteón de San Lorenzo | Santa Catarina 10 | 16.130 | 41.700 | 4.730 | 0.061 | 0.214 | 3 | Alto |
| San Antonio | Santa Catarina 11 | 1.030 | 6.700 | 0.330 | 0.138 | 0.249 | 1 | Bajo |

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------|---------|-----------|
| | Norma | 5 | 20 | 0.5 | 0.3 | 0.15 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | | |
| Lomas de San Lorenzo | Santa Catarina 13 | 0.930 | 43.300 | 1.027 | 0.316 | 0.703 | 3 | Alto |
| Reforma Política | Santa Cruz Meyehualco | 5.330 | 92.500 | 4.473 | 0.246 | 0.096 | 2 | Medio |
| Chinampac de Juárez | Tecomitl 2 | 0.500 | 35.000 | 2.643 | 0.301 | 0.133 | 2 | Medio |
| Unidad Modelo | Viga 2 | | | | | | 2 | Medio |
| Lomas Estrella 2a Sección | Xaltepec | 1.110 | 5.700 | 0.282 | 0.136 | 0.392 | 1 | Bajo |

*Información de SACMEX compartida personalmente

Tabla 4-5 Parámetros en el efluente de las plantas potabilizadoras (2019)

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------|---------|-----------|
| | Norma | 5 | 20 | 0.5 | 0.3 | 0.15 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | 100% | |
| Casa Blanca | Acueducto Sierra de Santa Catarina | 0.510 | 22.500 | 0.589 | 0.038 | 1.172 | 3 | Alto |
| Dr. Alfonso Ortiz Tirado | Agrícola oriental | 0.550 | 5.000 | 0.100 | 0.108 | 0.030 | 1 | Bajo |
| ZU Santa Martha Acatitla Norte | Auxiliar Xotepingo 4C | 0.500 | 5.000 | 0.693 | 0.068 | 0.042 | 1 | Bajo |
| Santa Cruz Meyehualco | Carlos L. Gracidas | 0.500 | 16.700 | 1.073 | 0.030 | 0.030 | 1 | Bajo |
| San Juan Xalpa | Cerro De La Estrella 2 | 10.000 | 35.000 | 0.100 | | | 1 | Bajo |
| Granjas San Antonio | Granjas San Antonio | 0.500 | 10.000 | 0.350 | 0.217 | 0.997 | 1 | Bajo |
| San Lucas | Iztapalapa 1 | 3.600 | 17.500 | 1.215 | 0.207 | 0.777 | 2 | Medio |
| Ricardo Flores Magón | Iztapalapa 2 | 0.500 | 5.000 | 0.100 | | | 1 | Bajo |
| Santa Cruz Meyehualco | Iztapalapa 8 | | | | | | 2 | Medio |
| San Francisco Apolocalco | La Caldera | | | | | | 2 | Medio |
| San Juan Xalpa | Panteón Civil | | | | | | 2 | Medio |
| Ejército de Agua Prieta | Peñón 2 | 0.500 | 8.300 | 0.523 | 0.030 | 0.030 | 1 | Bajo |
| San Miguel | Purísima 2 | 1.400 | 25.000 | 0.100 | 0.039 | 0.061 | 1 | Bajo |

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------|---------|-----------|
| | Norma | 5 | 20 | 0.5 | 0.3 | 0.15 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | 100% | |
| Leyes de Reforma 1ra Sección | Purísima 3-7 | 5.600 | 40.000 | 1.667 | 0.083 | 0.122 | 2 | Medio |
| 1a Ampliación Santiago Acahualtepec | Purísima Democrática | 3.400 | 50.000 | 5.265 | 0.175 | 0.244 | 3 | Alto |
| San Miguel Teotongo | Purísima Iztapalapa 1 | 4.100 | 25.000 | 6.220 | | | 2 | Medio |
| Xalpa | Purísima Iztapalapa 4 | | | | | | 2 | Medio |
| 2a Ampliación Santiago Acahualtepec | Purísima Iztapalapa 5 | 8.830 | 50.000 | 4.033 | 0.117 | 0.198 | 3 | Alto |
| Ampliación Emiliano Zapata | San Lorenzo Tezonco Nuevo | 1.400 | 50.000 | 0.510 | | | 2 | Medio |
| Panteon de San Lorenzo | Santa Catarina 8 Y 9 | 16.000 | 55.000 | 7.105 | 0.070 | 0.109 | 2 | Medio |
| Panteon de San Lorenzo | Santa Catarina 10 | 19.470 | 36.700 | 3.537 | 0.060 | 0.219 | 3 | Alto |
| San Antonio | Santa Catarina 11 | 0.500 | 6.700 | 0.100 | 0.030 | 0.031 | 1 | Bajo |
| Lomas de San Lorenzo | Santa Catarina 13 | 1.730 | 40.000 | 0.990 | 0.354 | 0.706 | 3 | Alto |

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganeso (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------|---------|-----------|
| | Norma | 5 | 20 | 0.5 | 0.3 | 0.15 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | 100% | |
| Reforma Política | Santa Cruz Meyehualco | 1.400 | 78.800 | 1.493 | 0.123 | 0.104 | 2 | Medio |
| Chinampac de Juárez | Tecomitl 2 | 0.500 | 30.000 | 0.380 | 0.078 | 0.088 | 1 | Bajo |
| Unidad Modelo | Viga 2 | | | | | | 2 | Medio |
| Lomas Estrella 2a Sección | Xaltepec | 0.500 | 5.000 | 0.100 | 0.030 | 0.030 | 1 | Bajo |

*Información de SACMEX compartida personalmente

Tabla 4-6 Eficiencia de remoción en las plantas potabilizadoras (2019)

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganes o (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------|-----------|
| | Norma | 0.1 | 0.15 | 0.3 | 0.15 | 0.3 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | | |
| Casa Blanca | Acueducto Sierra de Santa Catarina | 72.87% | 29.02% | 50.71% | 93.55% | 20.49% | 1 | Bajo |
| Dr Alfonso Ortiz Tirado | Agrícola oriental | 42.71% | 0.00% | 75.90% | 66.87% | 90.85% | 1 | Bajo |
| ZU Santa Martha Acatitla Norte | Auxiliar Xotepingo 4C | 0.00% | 0.00% | 17.99% | -21.43% | -5.00% | 3 | Alto |
| Santa Cruz Meyehualco | Carlos L. Gracidias | 3.85% | -25.56% | -11.77% | 34.78% | 0.00% | 3 | Alto |
| San Juan Xalpa | Cerro De La Estrella 2 | -53.85% | -16.67% | 0.00% | | | 2 | Medio |
| Granjas San Antonio | Granjas San Antonio | 35.06% | 0.00% | 37.50% | -8.50% | -15.93% | 3 | Alto |
| San Lucas | Iztapalapa 1 | 34.55% | 0.00% | 2.02% | -25.45% | -7.17% | 3 | Alto |
| Ricardo Flores Magón | Iztapalapa 2 | 0.00% | 66.67% | 54.55% | | | 1 | Bajo |
| Santa Cruz Meyehualco | Iztapalapa 8 | | | | | | 2 | Medio |
| San Francisco Apolocalco | La Caldera | | | | | | 2 | Medio |
| San Juan Xalpa | Panteon Civil | | | | | | 2 | Medio |
| Ejército de Agua Prieta | Peñon 2 | 0.00% | -23.88% | 66.94% | 0.00% | 43.40% | 2 | Medio |
| San Miguel | Purisima 2 | 12.50% | 9.09% | 86.11% | 47.30% | 70.67% | 1 | Bajo |

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganes o (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------|-----------|
| | Norma | 0.1 | 0.15 | 0.3 | 0.15 | 0.3 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | | |
| Leyes de Reforma 1ra Sección | Purísima 3-7 | 48.48% | 0.00% | 11.47% | -5.06% | 0.00% | 2 | Medio |
| 1a Ampliación Santiago Acahualtepec | Purísima Democrática | -129.73% | 58.33% | 12.25% | -326.83% | -662.50% | 3 | Alto |
| San Miguel Teotongo | Purísima Iztapalapa 1 | -561.29% | 64.29% | 9.33% | | | 2 | Medio |
| Xalpa | Purísima Iztapalapa 4 | | | | | | 2 | Medio |
| 2a Ampliación Santiago Acahualtepec | Purísima Iztapalapa 5 | -1449.12% | 34.81% | 37.57% | -290.00% | -395.00% | 3 | Alto |
| Ampliación Emiliano Zapata | San Lorenzo Tezonco Nuevo | 0.00% | 0.00% | 74.11% | | | 2 | Medio |
| Panteon de San Lorenzo | Santa Catarina 8 Y 9 | 7.78% | 0.00% | -0.42% | 7.89% | -1.87% | 3 | Alto |
| Panteon de San Lorenzo | Santa Catarina 10 | -20.71% | 11.99% | 25.22% | 1.64% | -2.34% | 3 | Alto |
| San Antonio | Santa Catarina 11 | 51.46% | 0.00% | 69.70% | 78.26% | 87.55% | 1 | Bajo |
| Lomas de San Lorenzo | Santa Catarina 13 | -86.02% | 7.62% | 3.60% | -12.03% | -0.43% | 3 | Alto |
| Reforma Política | Santa Cruz Meyehualco | 73.73% | 14.81% | 66.62% | 50.00% | -8.33% | 2 | Medio |
| Chinampac de Juárez | Tecomitl 2 | 0.00% | 14.29% | 85.62% | 74.09% | 33.83% | 1 | Bajo |

| Colonia | Nombre | Turbiedad (UTN) | Color (U Pt/Co) | Nitrógeno amoniacal (mg/L) | Hierro total (mg/L) | Manganes o (mg/L) | Puntaje | Categoría |
|---------------------------|------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------|-----------|
| | Norma | 0.1 | 0.15 | 0.3 | 0.15 | 0.3 | | |
| | Porcentaje | 10% | 15% | 30% | 15% | 30% | 100% | |
| Unidad Modelo | Viga 2 | | | | | | 2 | Medio |
| Lomas Estrella 2a Sección | Xaltepec | 54.95% | 12.28% | 64.54% | 77.94% | 92.35% | 1 | Bajo |

*Información de SACMEX compartida personalmente

Influente Turbiedad

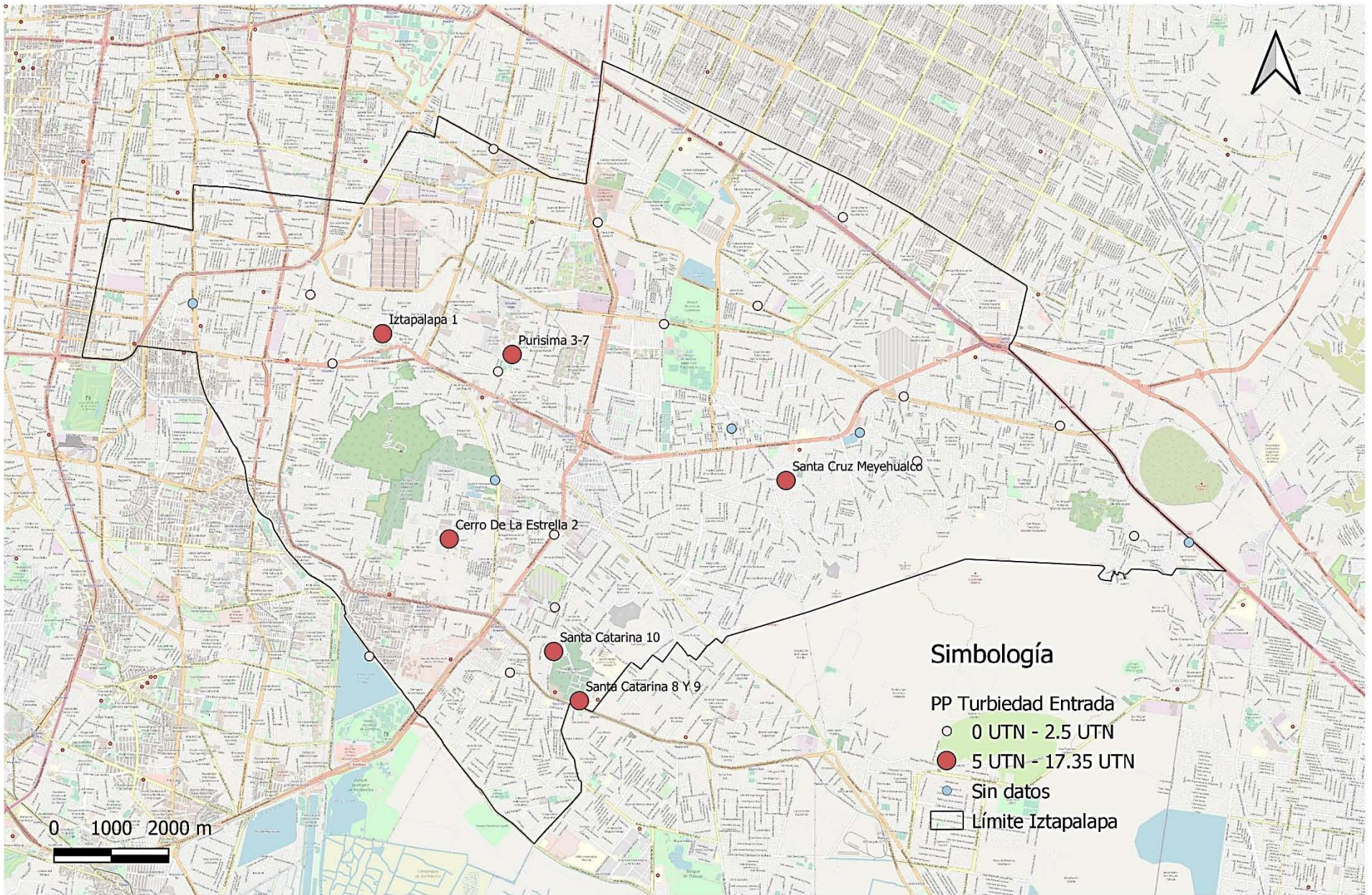


Figura 4-20 Turbiedad en influente de las potabilizadoras

Efluente Turbiedad

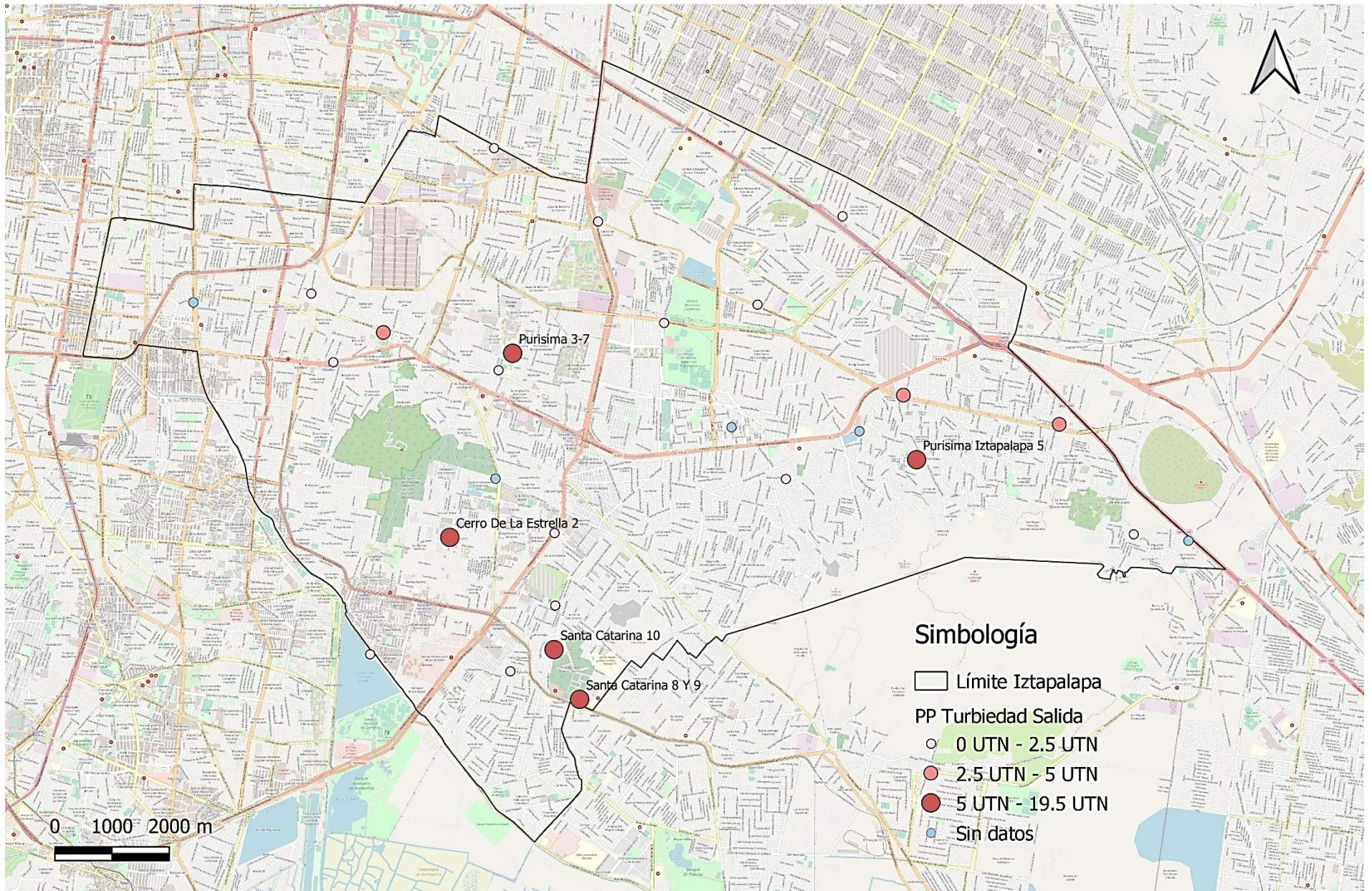


Figura 4-21 Turbiedad en el efluente de las potabilizadoras

Eficiencia de remoción de Turbiedad

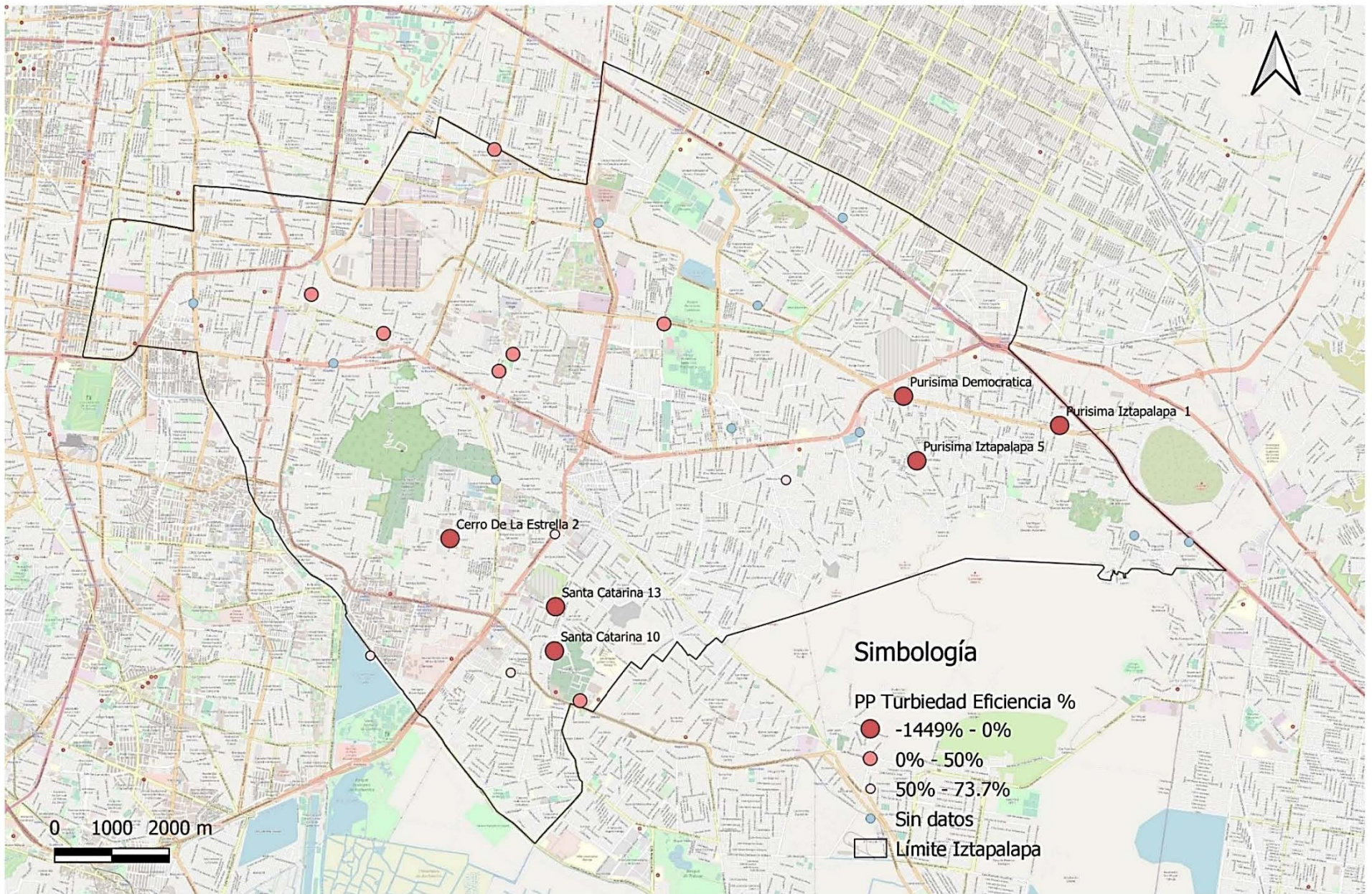


Figura 4-22 Eficiencia de remoción de turbiedad en las potabilizadoras

Influente Color

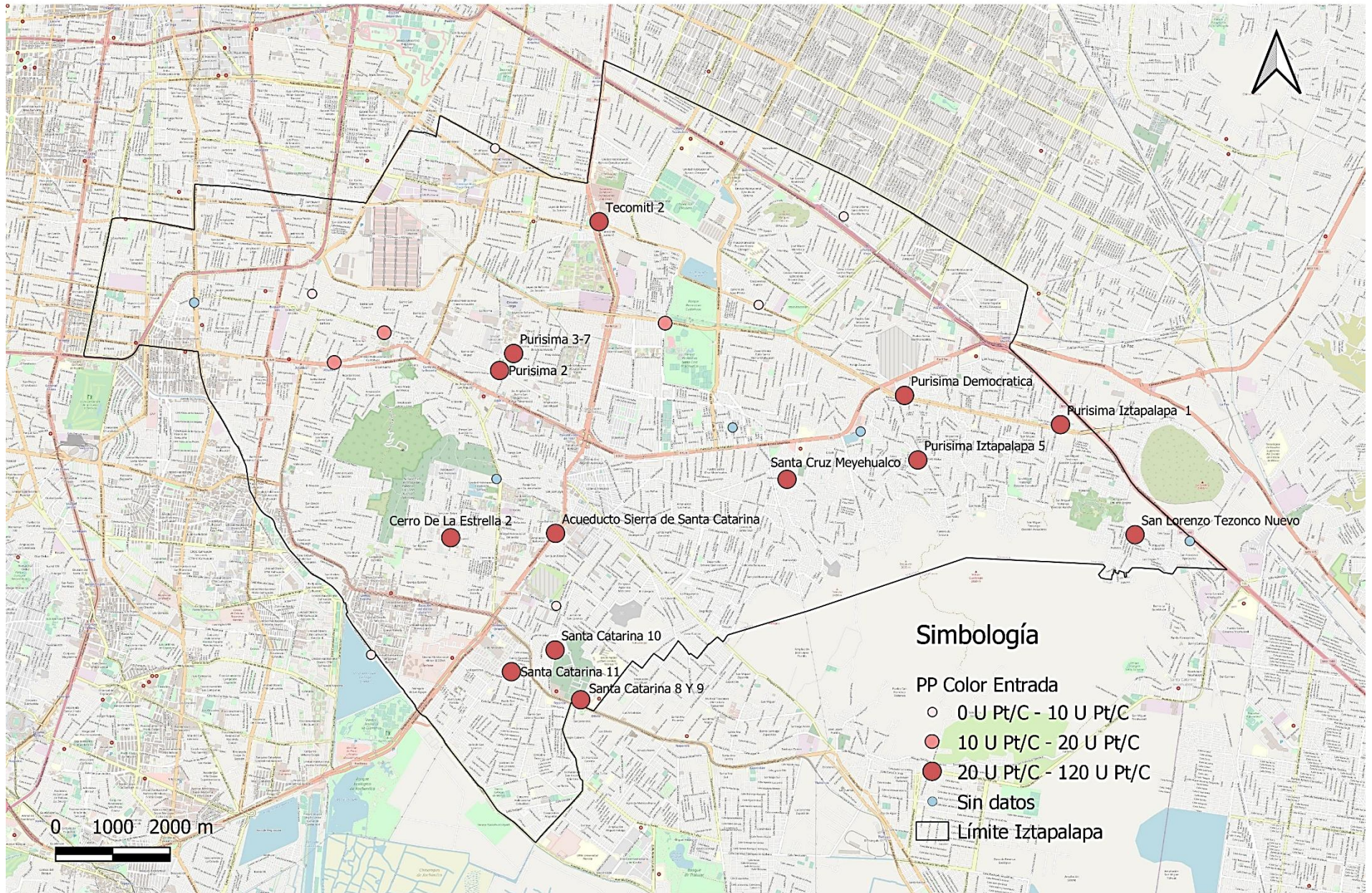


Figura 4-23 Color en el influente de las potabilizadoras

Efluente Color

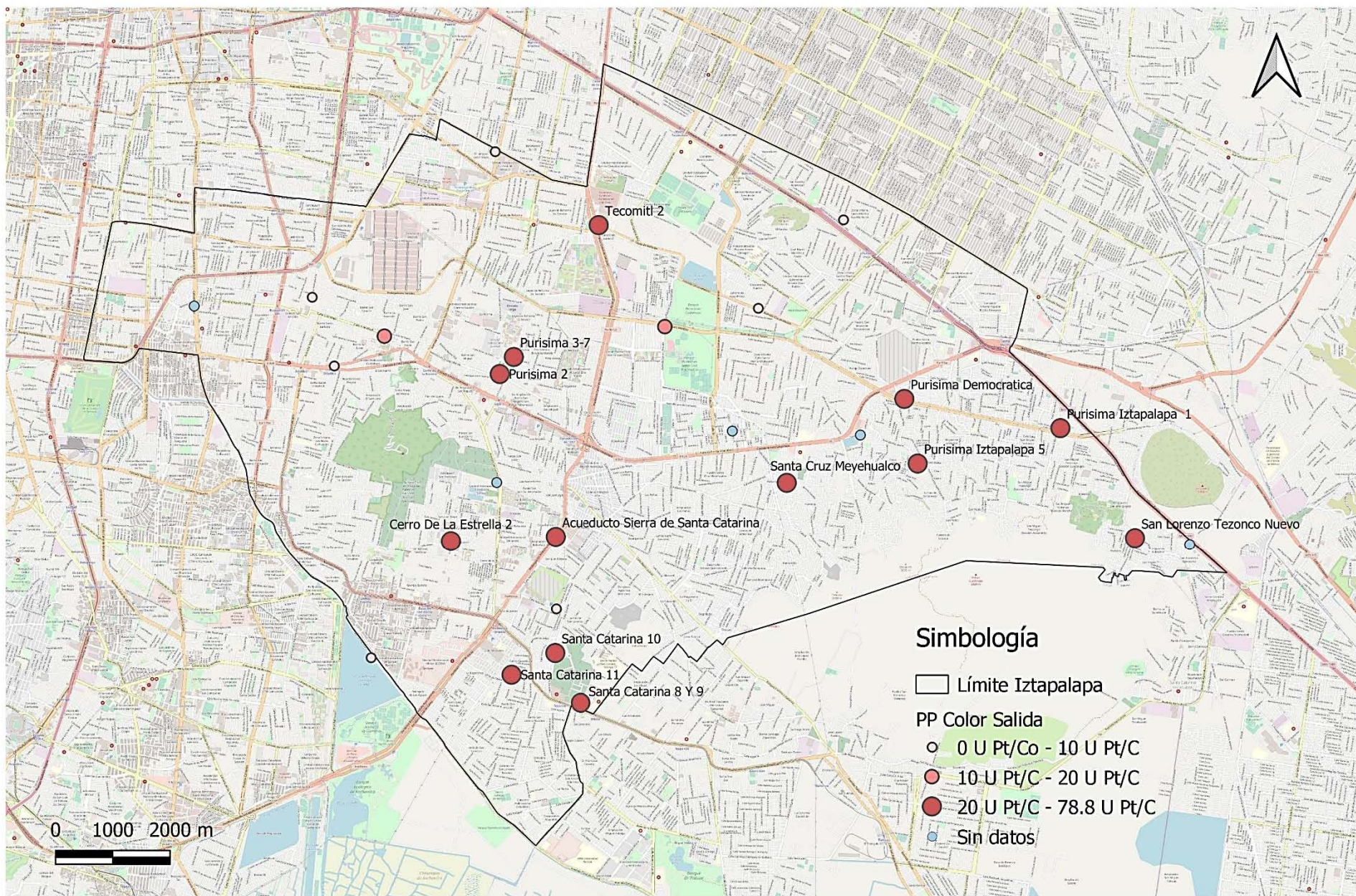


Figura 4-24 Color en el efluente de las potabilizadoras

Eficiencia de remoción de Color

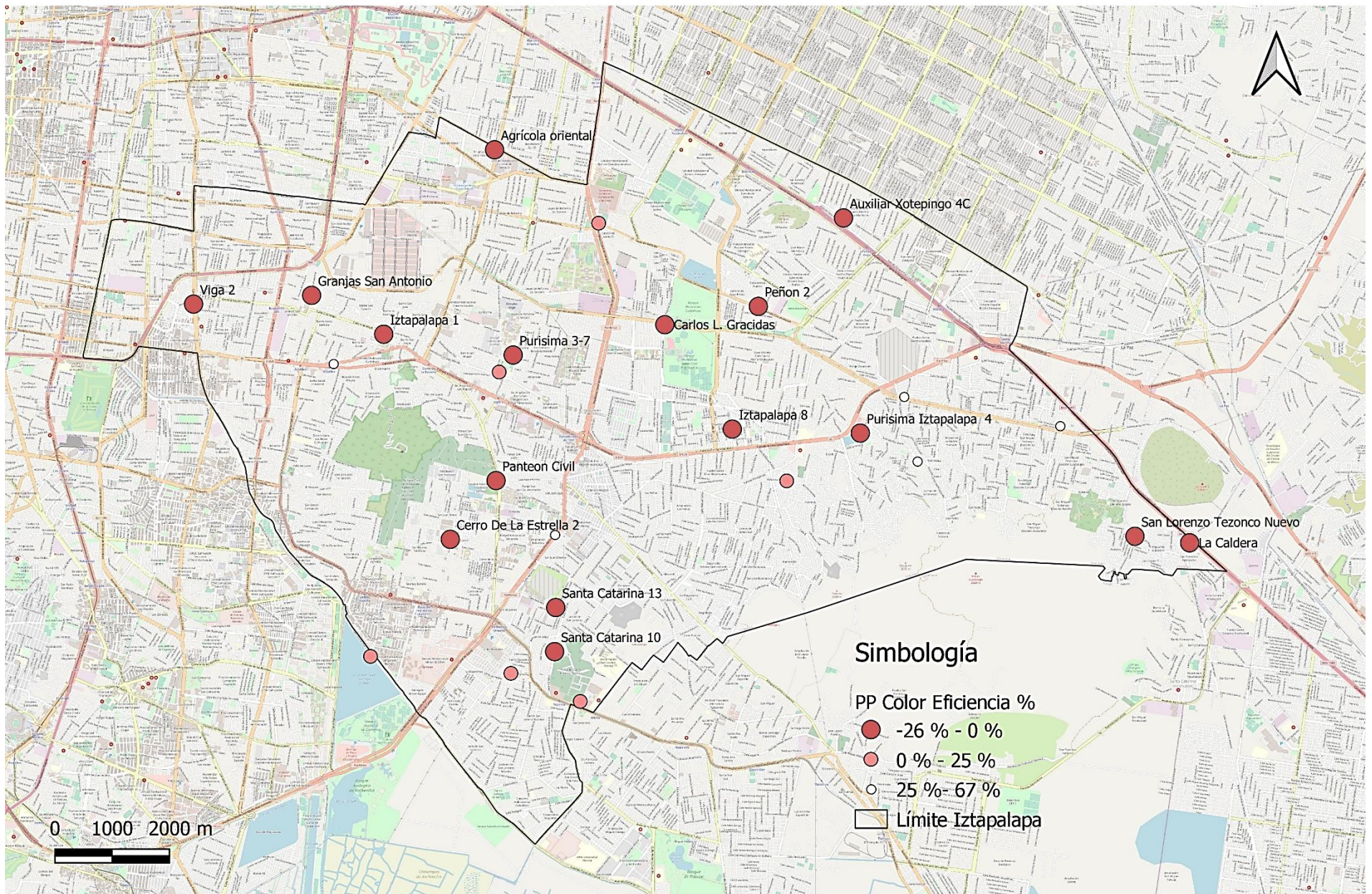


Figura 4-25 Eficiencia de remoción de color en las potabilizadoras

Influente Nitrógeno Amoniacal

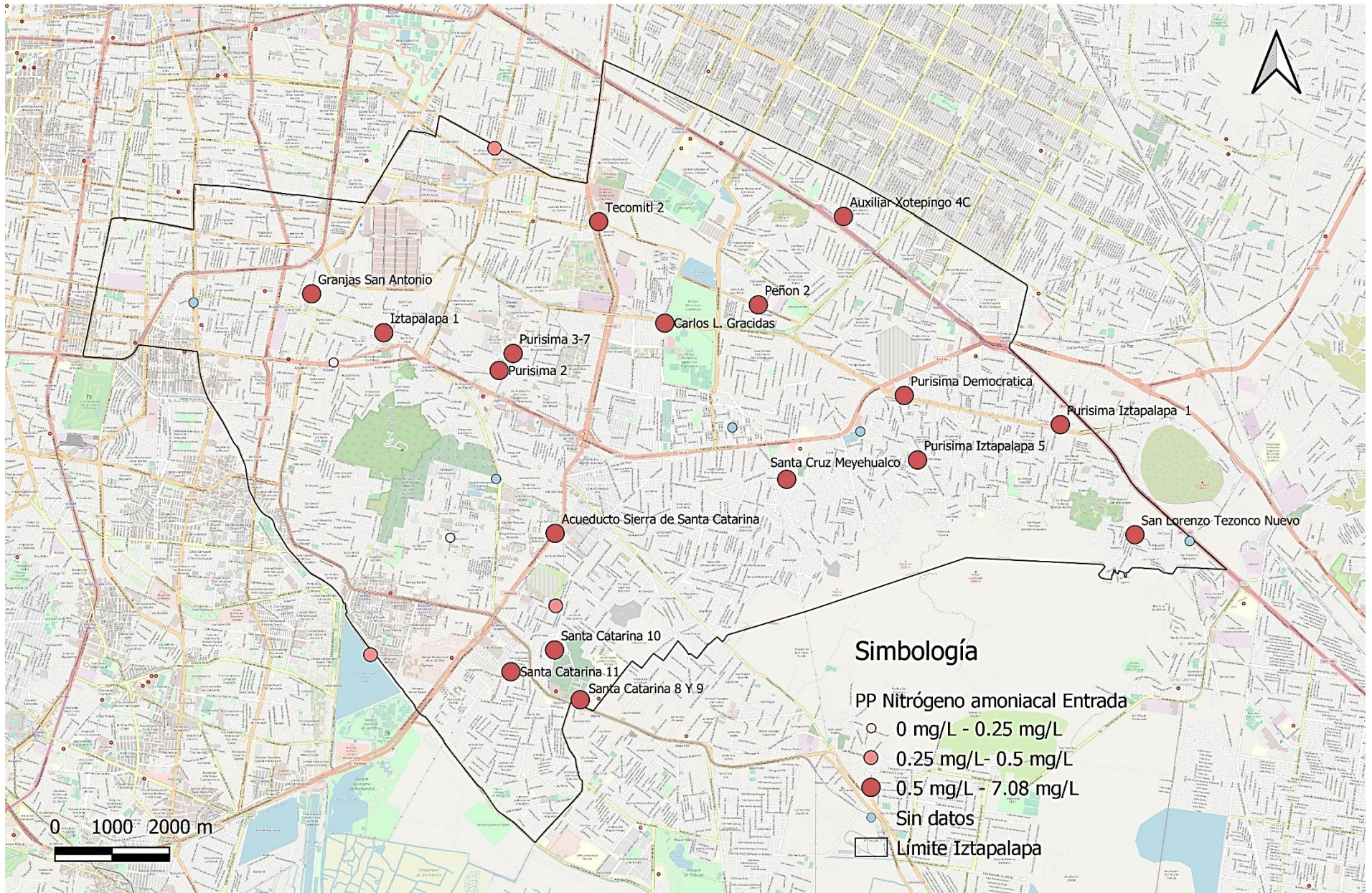


Figura 4-26 Concentración de nitrógeno amoniacal en el influente de las potabilizadoras

Efluente Nitrógeno Amoniacal

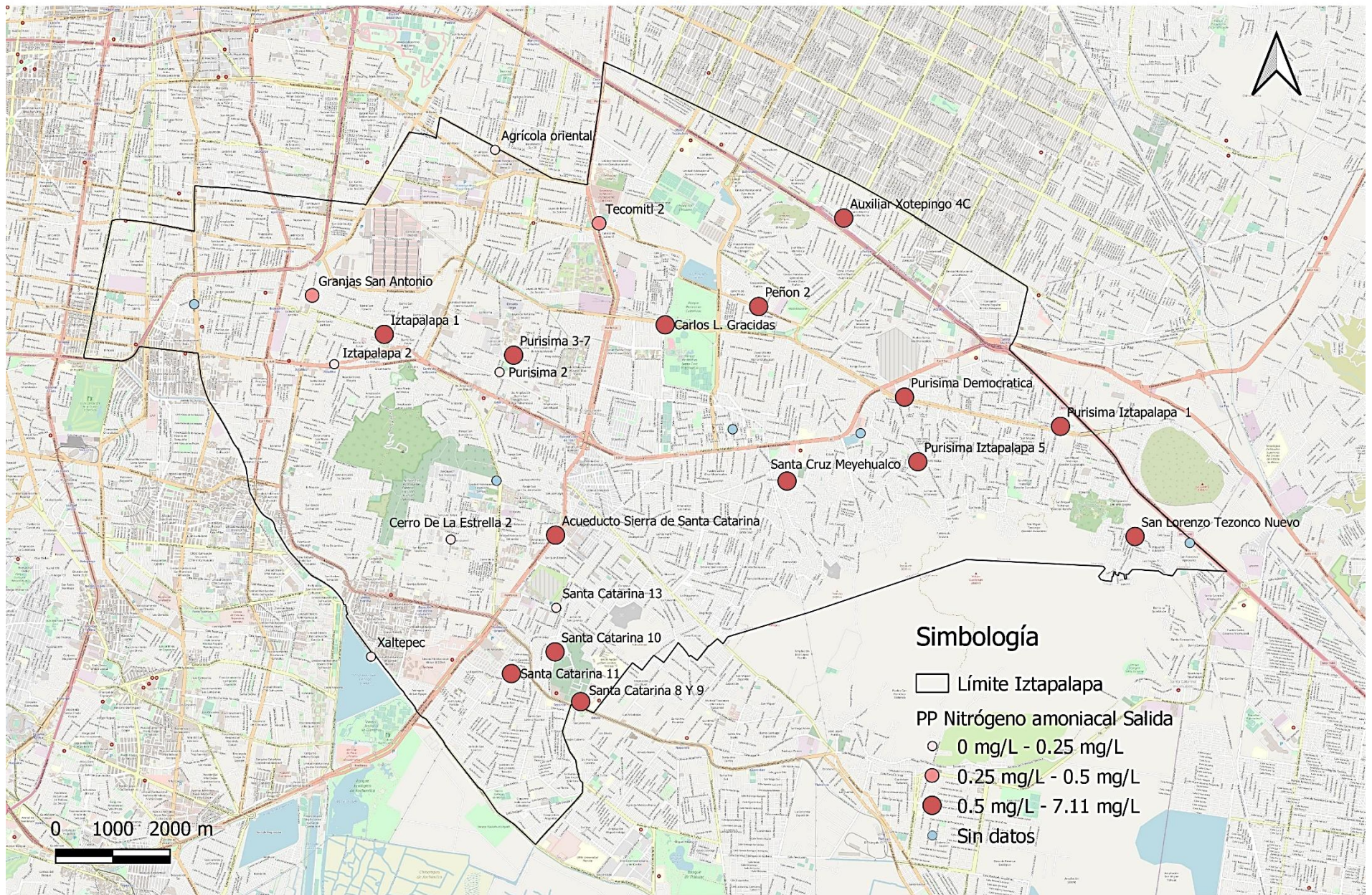


Figura 4-27 Concentración de nitrógeno amoniacal en el efluente de las potabilizadoras

Eficiencia de remoción de Nitrógeno Amoniacal

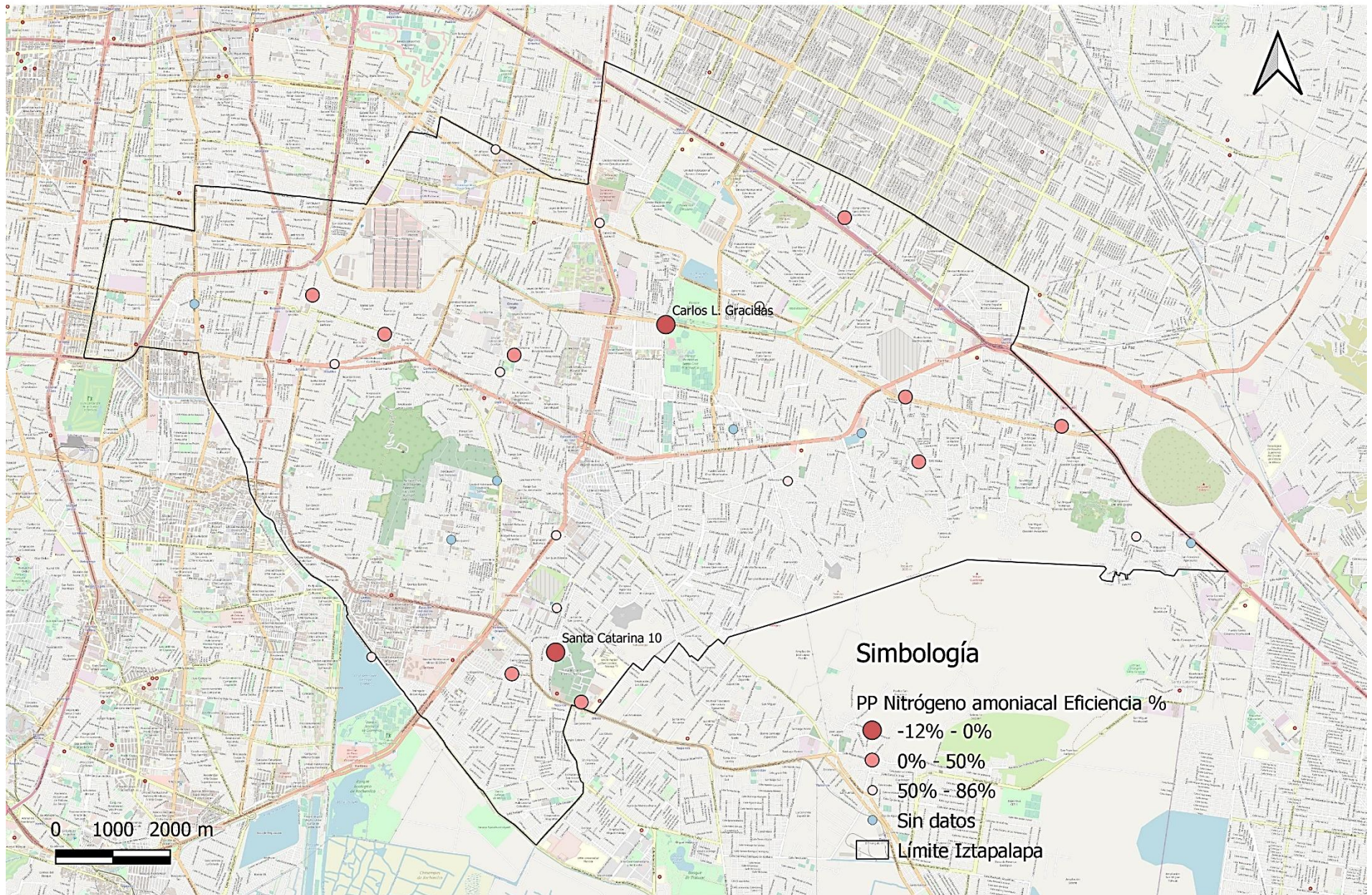


Figura 4-28 Eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal en potabilizadoras

Influente Hierro

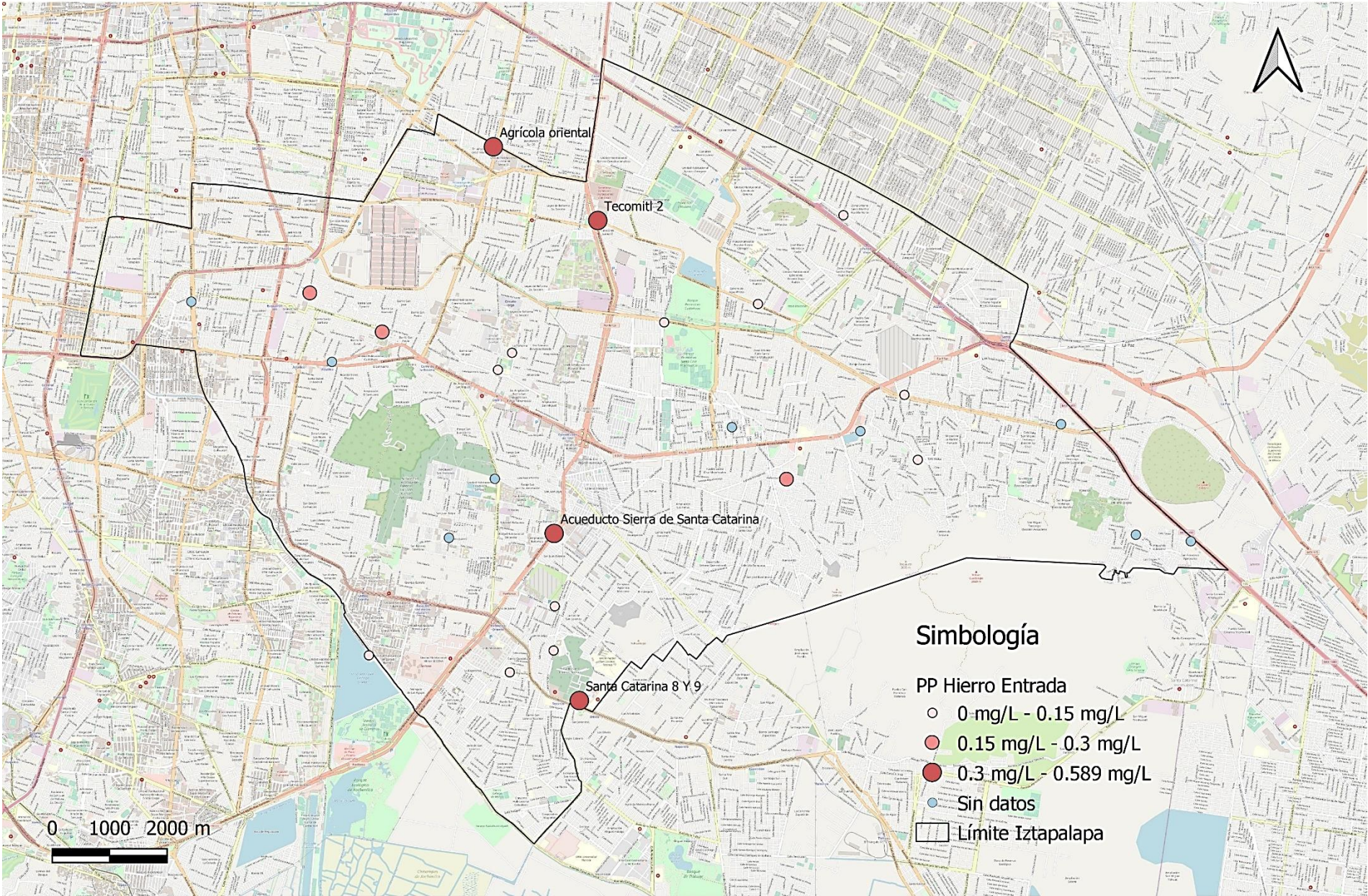


Figura 4-29 Concentración de hierro total en el influente de las potabilizadoras

Efluente Hierro

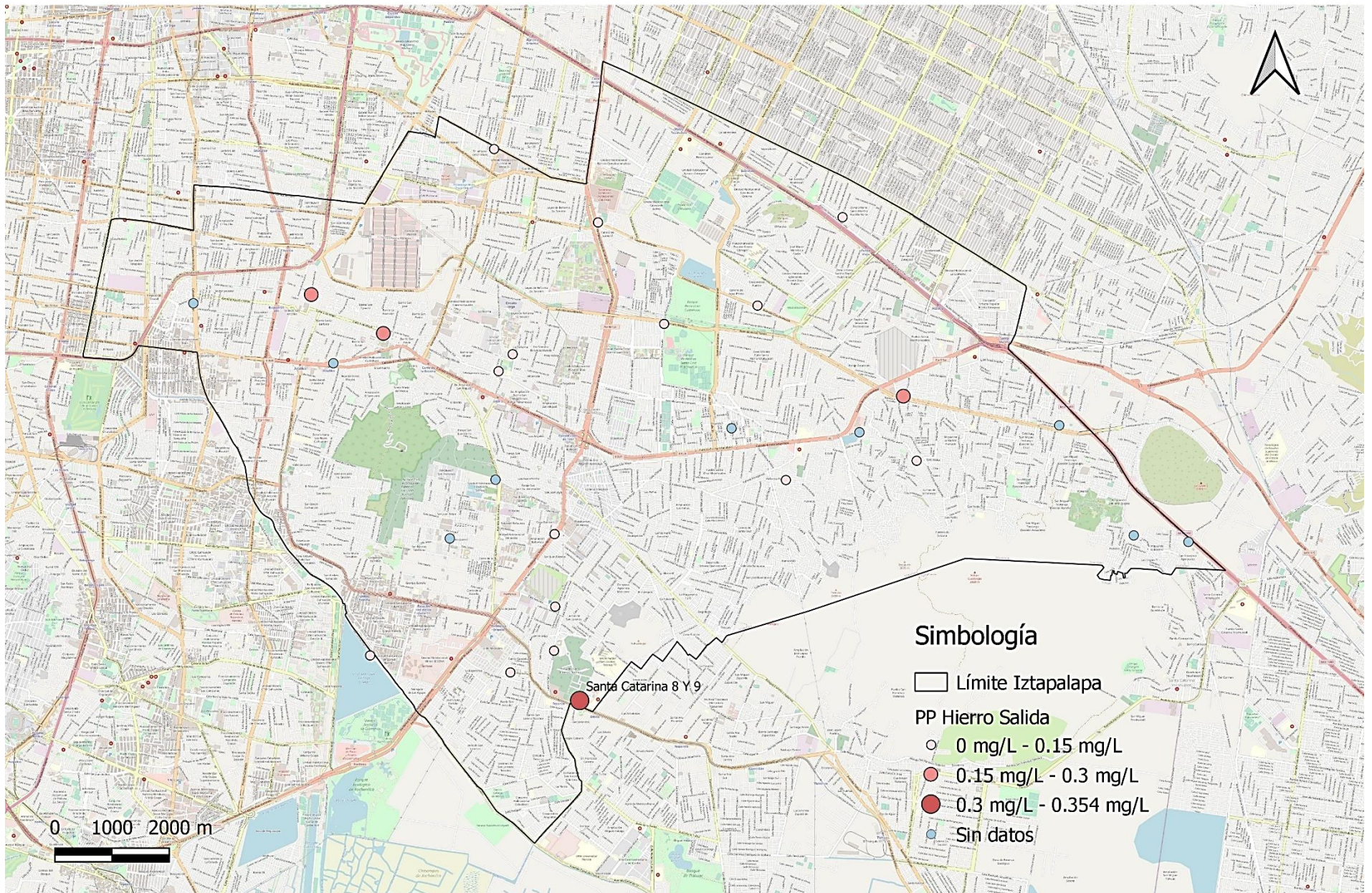


Figura 4-30 Concentración de hierro total en el efluente de las potabilizadoras

Eficiencia de remoción de Hierro

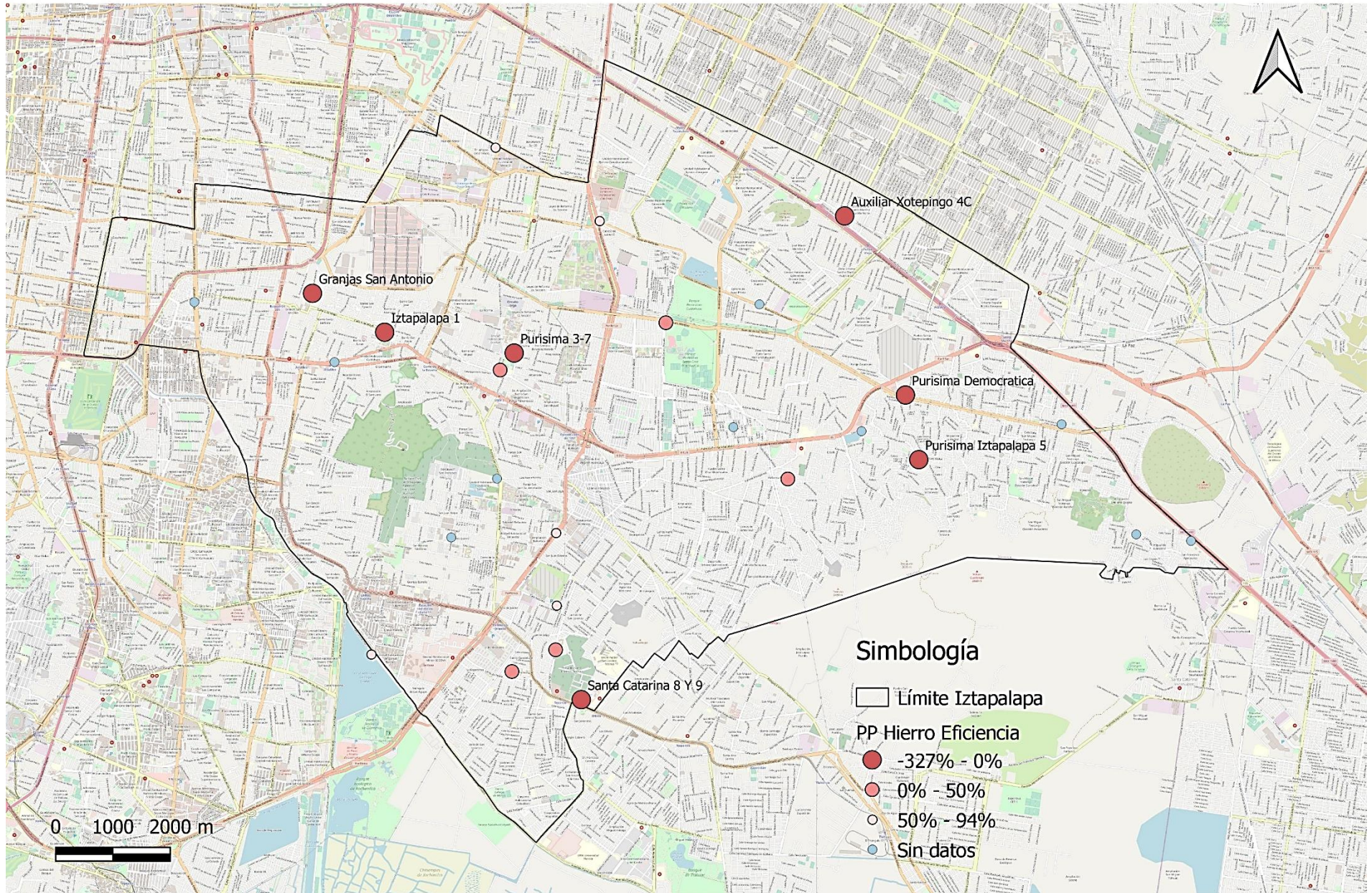


Figura 4-31 Eficiencia de remoción de hierro total en las potabilizadoras

Influente Manganeseo

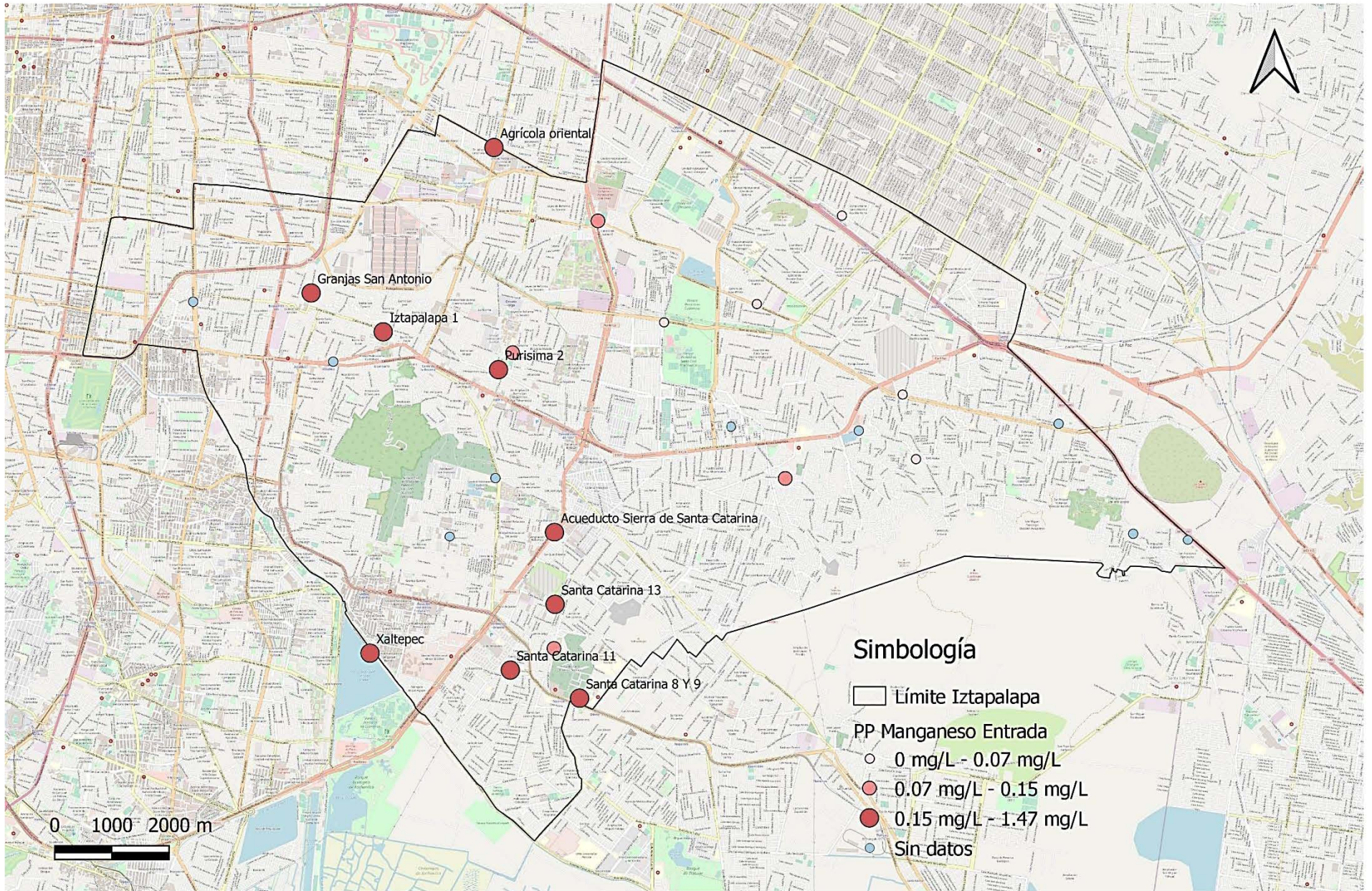


Figura 4-32 Concentración de manganeso en el influente de las potabilizadoras

Efluente Manganeso

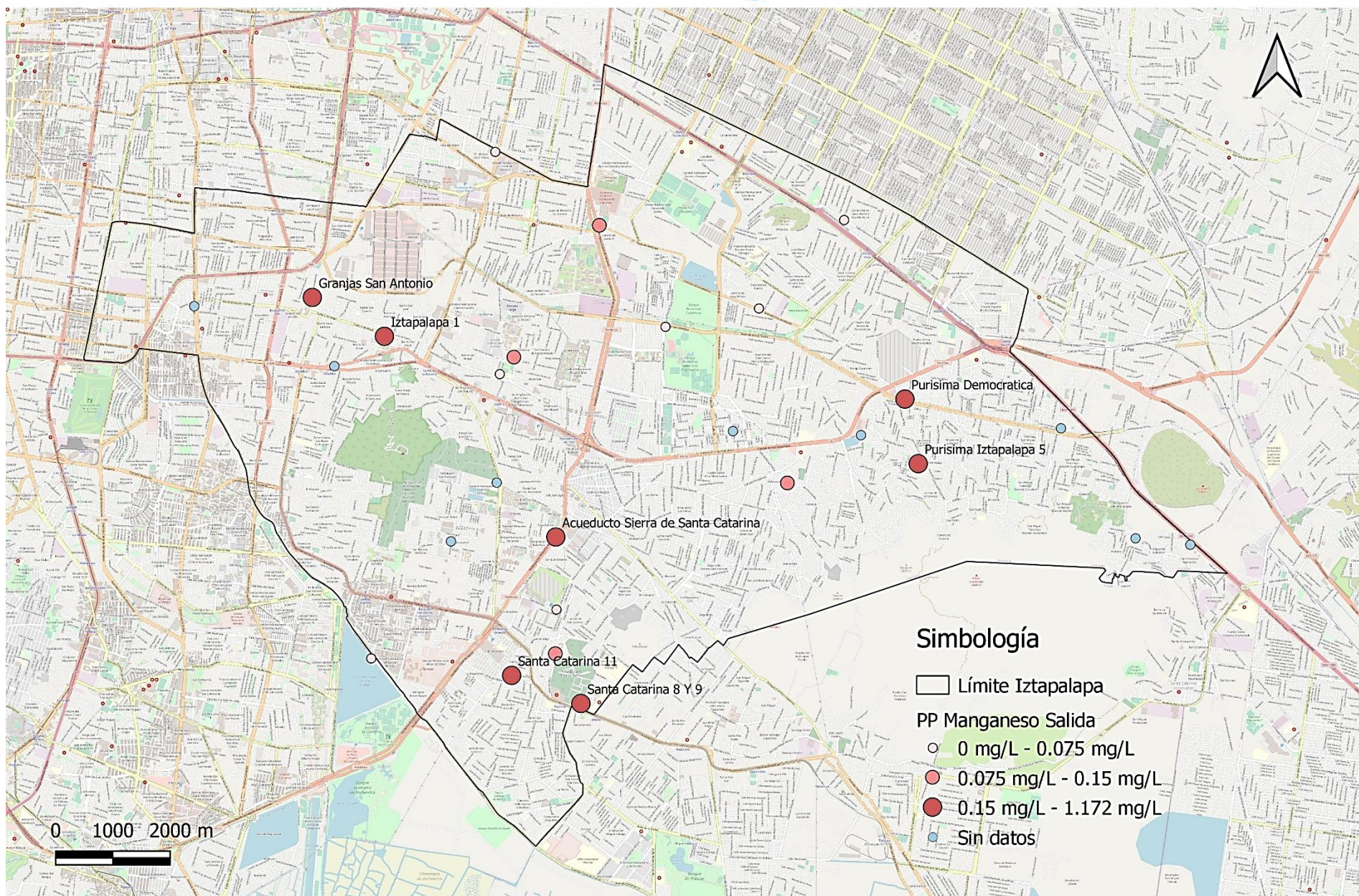


Figura 4-33 Concentración de manganeso en el efluente de las potabilizadoras

Eficiencia de remoción de Manganeso

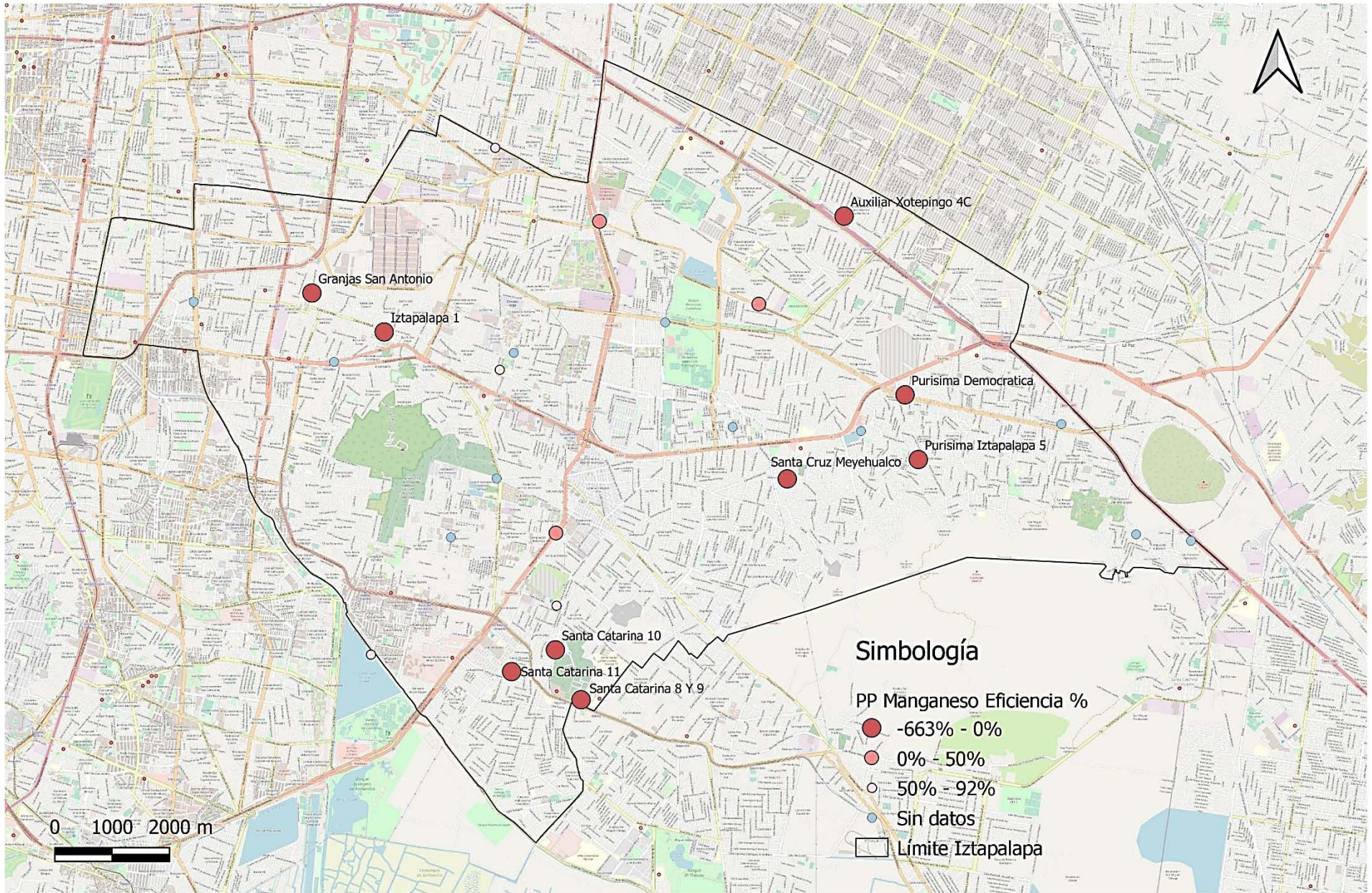


Figura 4-34 Eficiencia de remoción de manganeso en las potabilizadoras

4.3.2.3 *Tanques de abastecimiento*

Los tanques de almacenamiento son otra componente principal en el sistema de abastecimiento y se considera el volumen de estos, la población y área a la que abastecen. Iztapalapa recibe agua potable de fuentes externas a través de tres grandes tanques de almacenamiento: La Estrella, La Caldera y Xaltepec, estos reciben en conjunto un promedio de 5,224 L/s y más de 20 tanques de menor capacidad distribuidos en la alcaldía. Sin embargo, debido a la corta duración de la investigación y al limitado acceso a la información e infraestructura del organismo operador no fue posible desarrollar una campaña de monitoreo en los tanques de abastecimiento, además, es importante mencionar, que, hasta el momento de la realización de este trabajo, no se contó con la información necesaria para definir las áreas y por lo tanto la población que es beneficiada por los tanques. Razón por la cual no se incluye en el análisis de riesgo a pesar de ser una componente importante para documentar los posibles riesgos en la aliad del agua en la práctica del tandeo, tan frecuente en esta alcaldía.

4.3.2.4 *Distribución*

En general, la distribución del agua se lleva a cabo por dos medios: la red del servicio público que puede encontrarse dentro de la vivienda o fuera de esta, pero en el terreno o mediante pipas, cuya capacidad, frecuentemente, es de 10,000 litros.

La tubería es el principal elemento de la componente distribución, sin embargo, por la existencia del tandeo en la alcaldía, los camiones cisterna son otra forma de distribución.

4.3.2.4.1 *Tubería*

La red de tubería pública es el medio más efectivo para asegurar el suministro, y el Censo de 2010 reportaba que el 97% de la población en Iztapalapa contaba con acceso a agua potable.

Para el análisis de la tubería se considera el material, longitud y diámetro de esta. En el Anexo 3 se presenta el diámetro y material de la tubería predominante considerado para evaluar en cada una de las colonias de la alcaldía. Esta información fue obtenida mediante geoprocetos proporcionados por ArcGis 10.3, y estos son correspondientes a la extensión de la tubería con respecto al área de la colonia.

En la Figura 4-35, Figura 4-36 y Figura 4-37, se muestra el diámetro de la tubería de la alcaldía y en la Figura 4-38 y Figura 4-39 se muestra el material de la red.

4.3.2.4.2 Abastecimiento con pipas

Las pipas tienen presencia en todo el país, aunque predominan en las zonas urbanas y periurbanas, regularmente son presentadas como un servicio privado de abastecimiento, pero en años recientes se observa que los municipios han comprado sus propias pipas.

Debido a la problemática referente al déficit existente en la alcaldía e Iztapalapa se atiende la distribución mediante pipas, las autoridades delegacionales, en 2013, reportan que se realizan cerca alrededor de 450 viajes por día, aunque la demanda supera los 600 viajes por día. Este factor interno no se consideró en el análisis debido a que no se encontró información suficiente que estuviera sistematizada y que reflejara la variabilidad en esta forma de suministro del agua potable en la población.

Tubería de 6 in, 8 in y 10 in

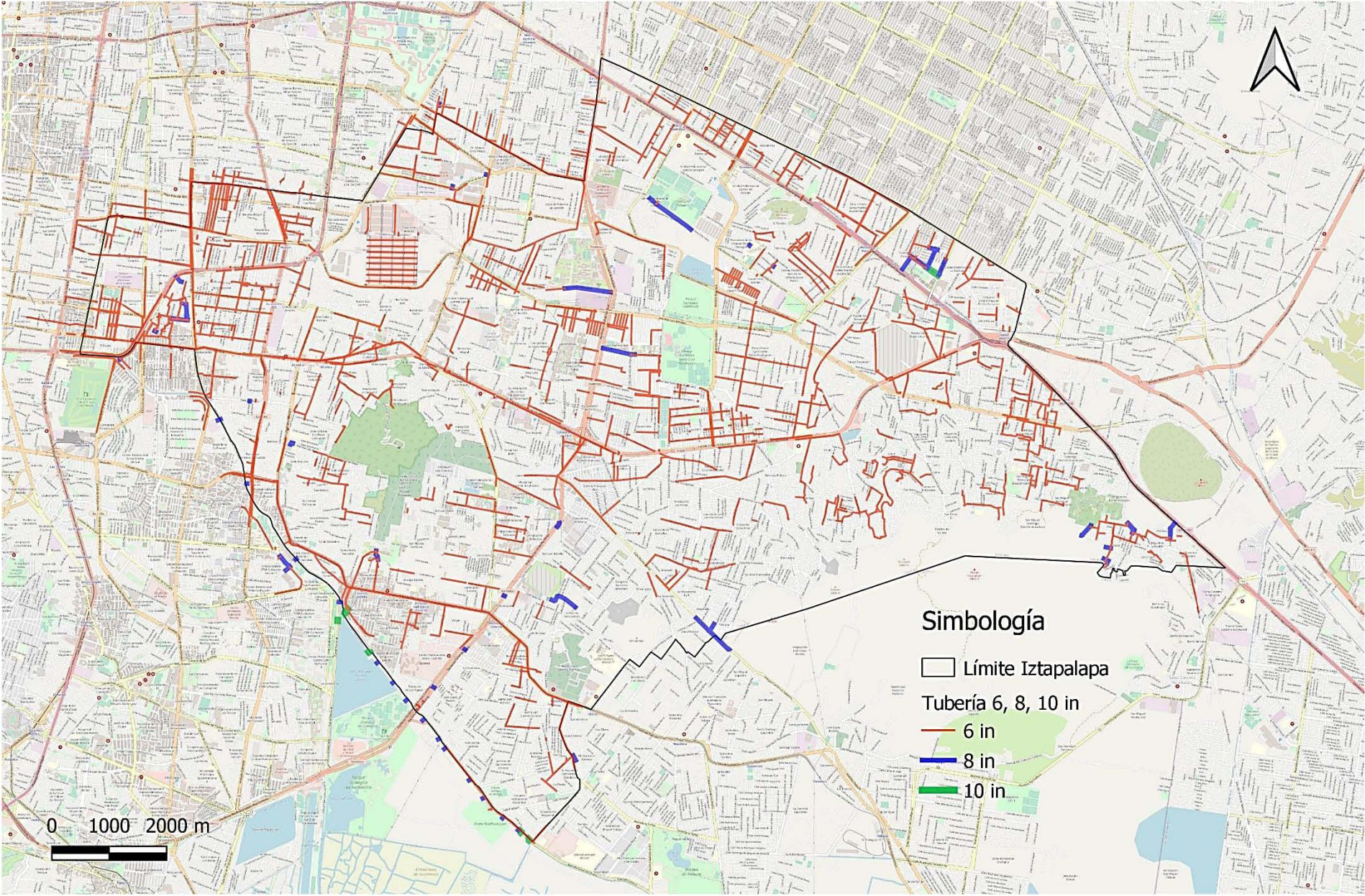


Figura 4-35 a) Tubería en Iztapalapa

Tubería de 12 in, 20 in, 24 in y 30 in

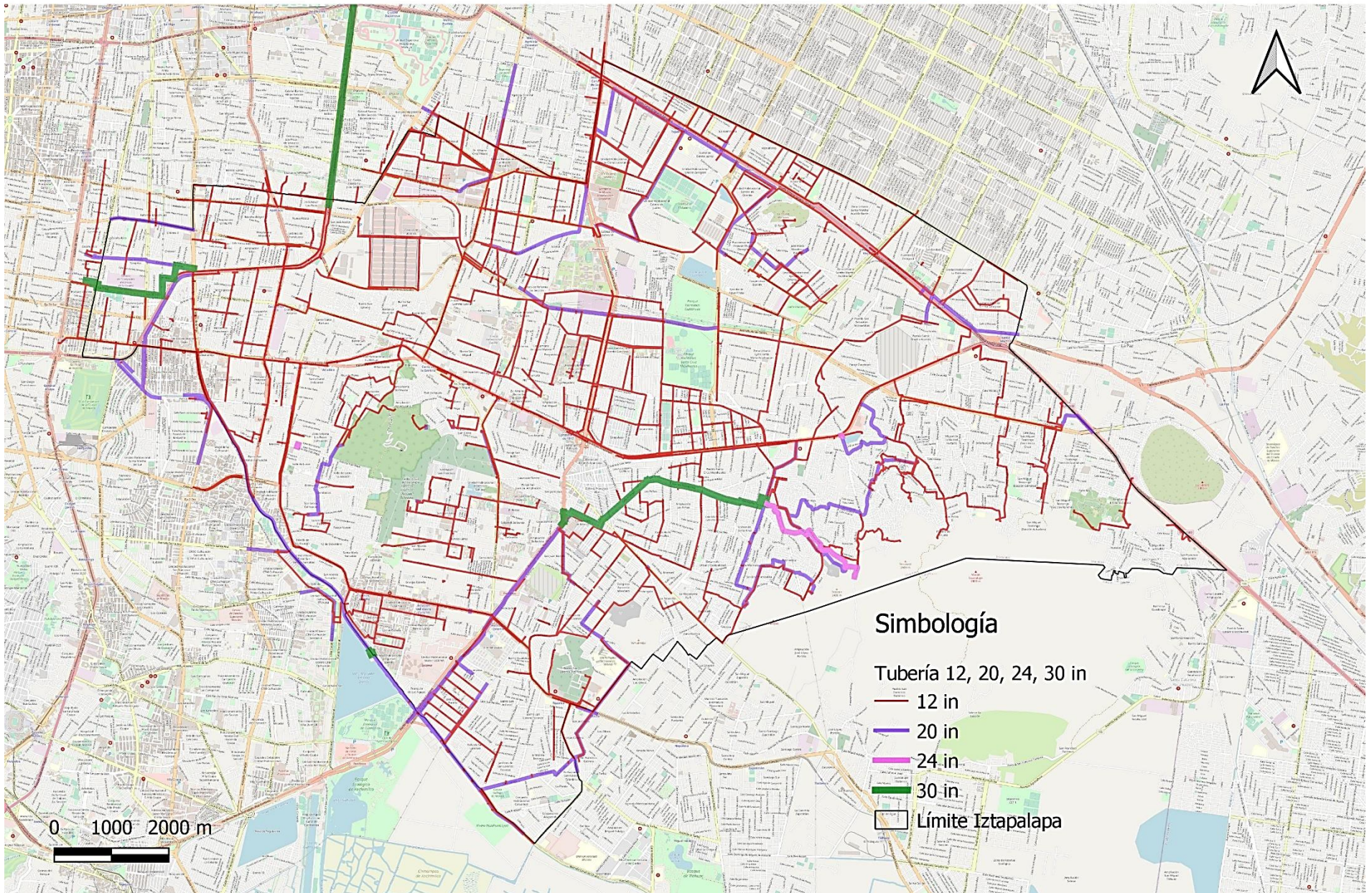


Figura 4-36 b) Tubería en Iztapalapa

Tubería de 36 in, 42 in, 48 in y 72 in

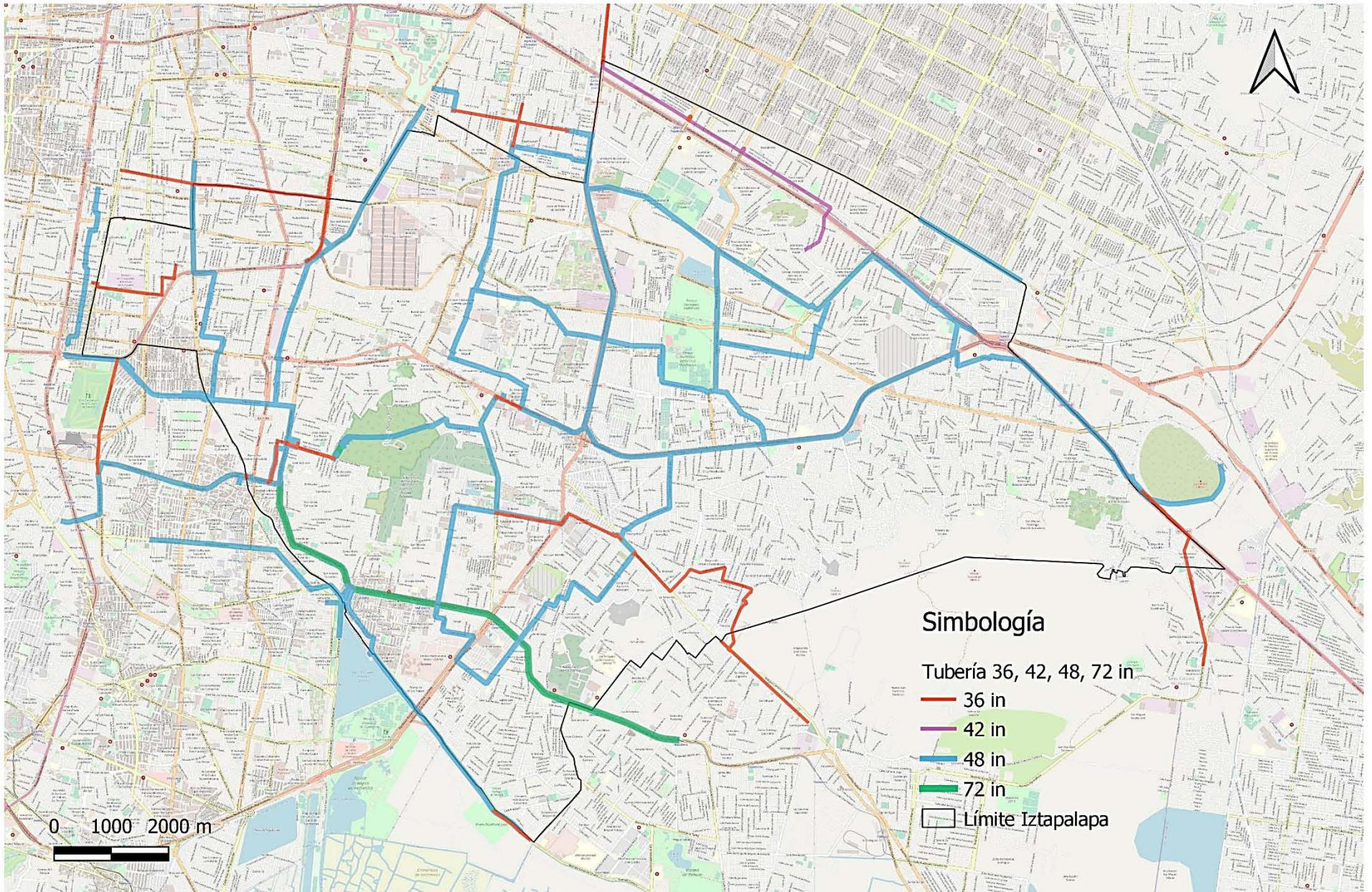


Figura 4-37 c) Tubería en Iztapalapa

Material de tubería en Iztapalapa

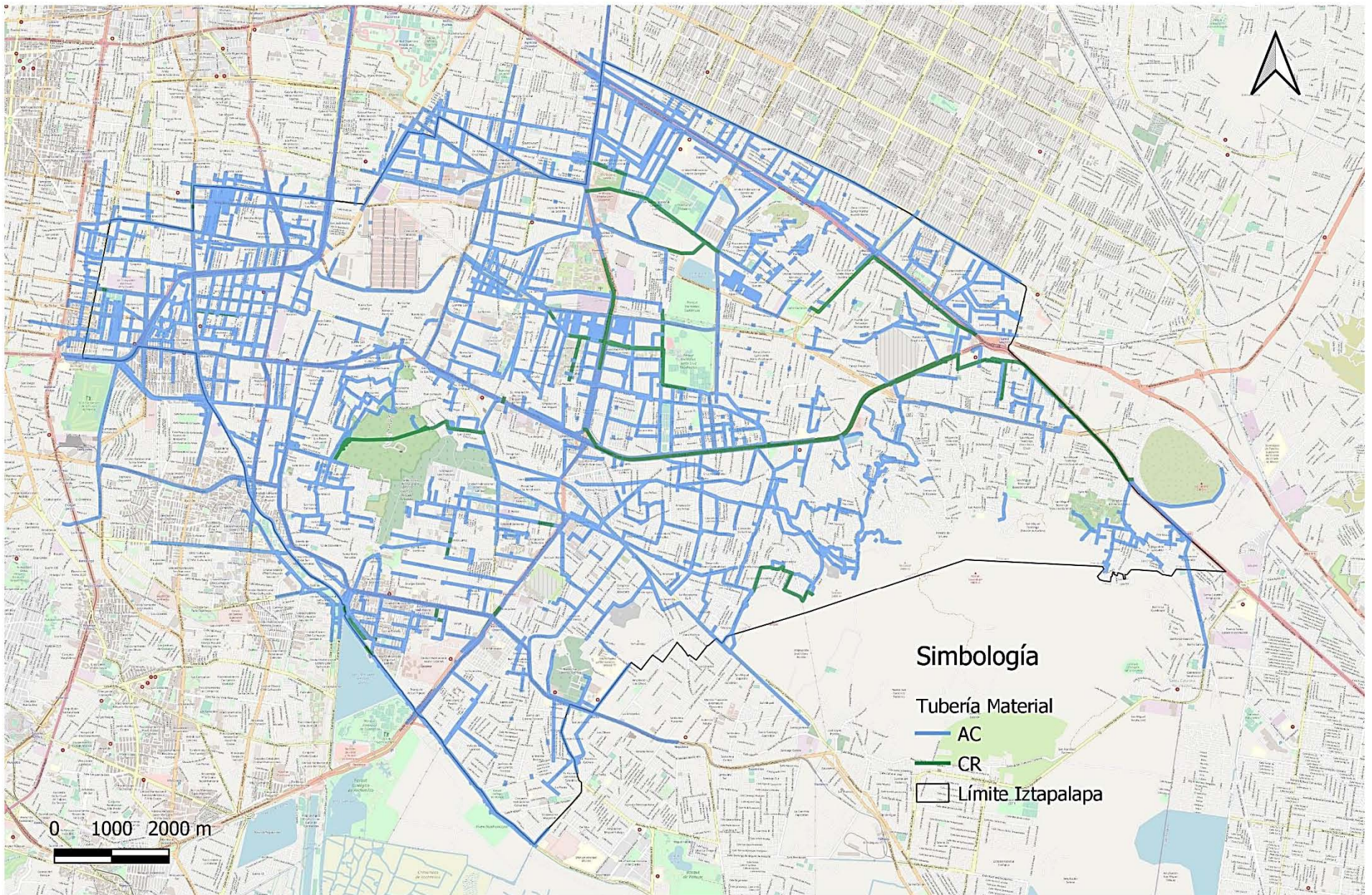


Figura 4-38 Material de la tubería en Iztapalapa

Material de tubería en Iztapalapa

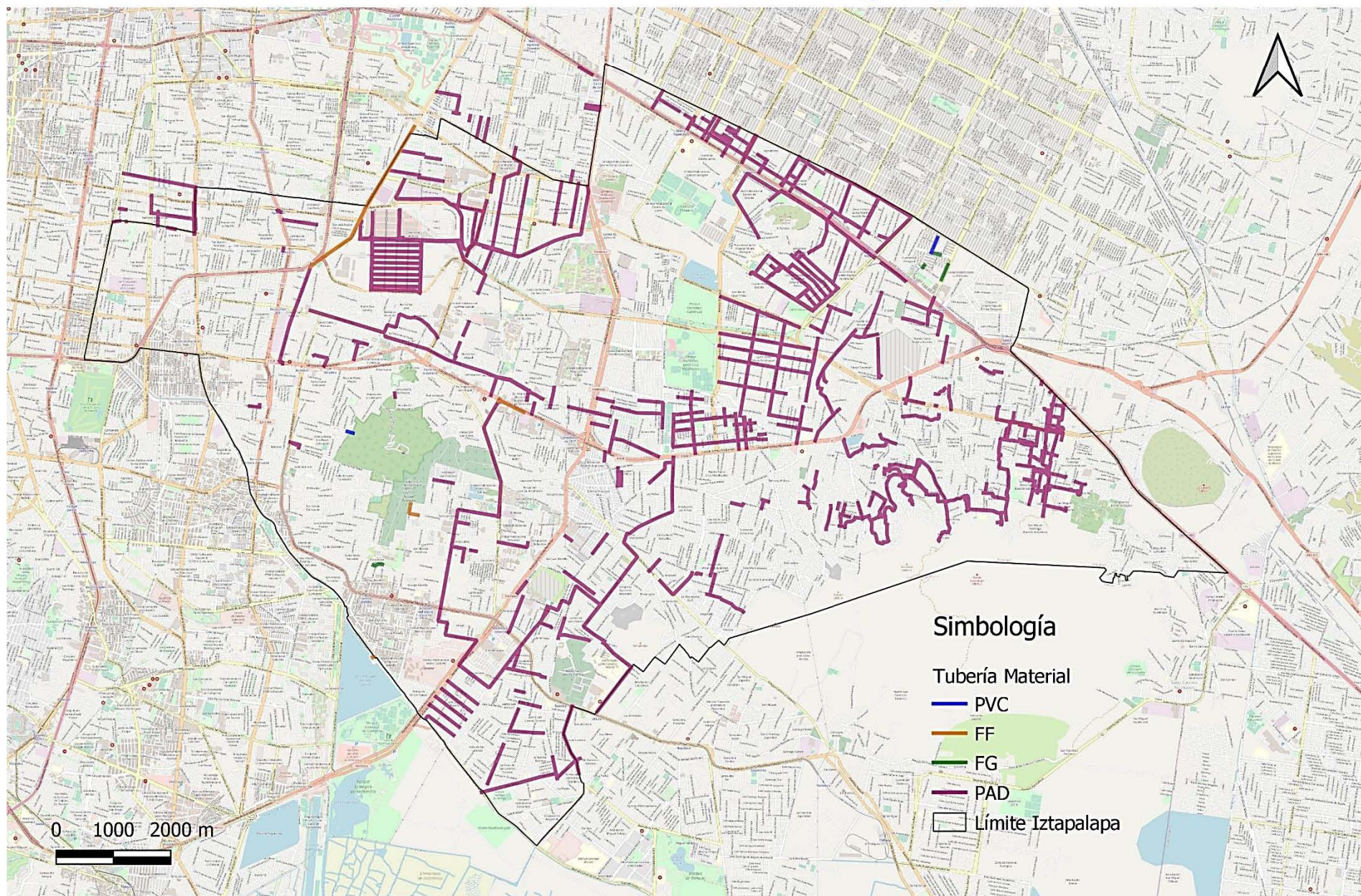


Figura 4-39 Material de la tubería en Iztapalapa

4.3.2.5 *Colonias con tandeo frecuente*

La alcaldía de Iztapalapa presenta frecuentemente problemas con el abastecimiento, por lo que el tandeo es uno de los que más se observan en esta. Este tipo de actividades tiene como consecuencia el descontento de la población al contar con una menor cantidad de agua suministrada (Fuentes, 2018).

El tandeo puede ocasionar fallas en la red de distribución debido a los cambios de presión que se ejercen sobre ella.

Escolero, et al., en el 2009 reporta que cerca de 90 colonias reciben agua de esta manera, sin embargo la alcaldía reporta 45 de 337 colonias afectadas en estiaje, asegurando que este fenómeno se presenta en todos los sectores de la alcaldía, sin embargo, en 2019, el Gobierno de la Ciudad de México, condonó el pago por servicio de agua potable a más de 70 colonias de la alcaldía, debido a que estas colonias no contaban con la cantidad suficiente de agua suministrada y sólo contaban con ella en determinados periodos, estas se muestran en la Figura 4-40.

Tandeo en Iztapalapa

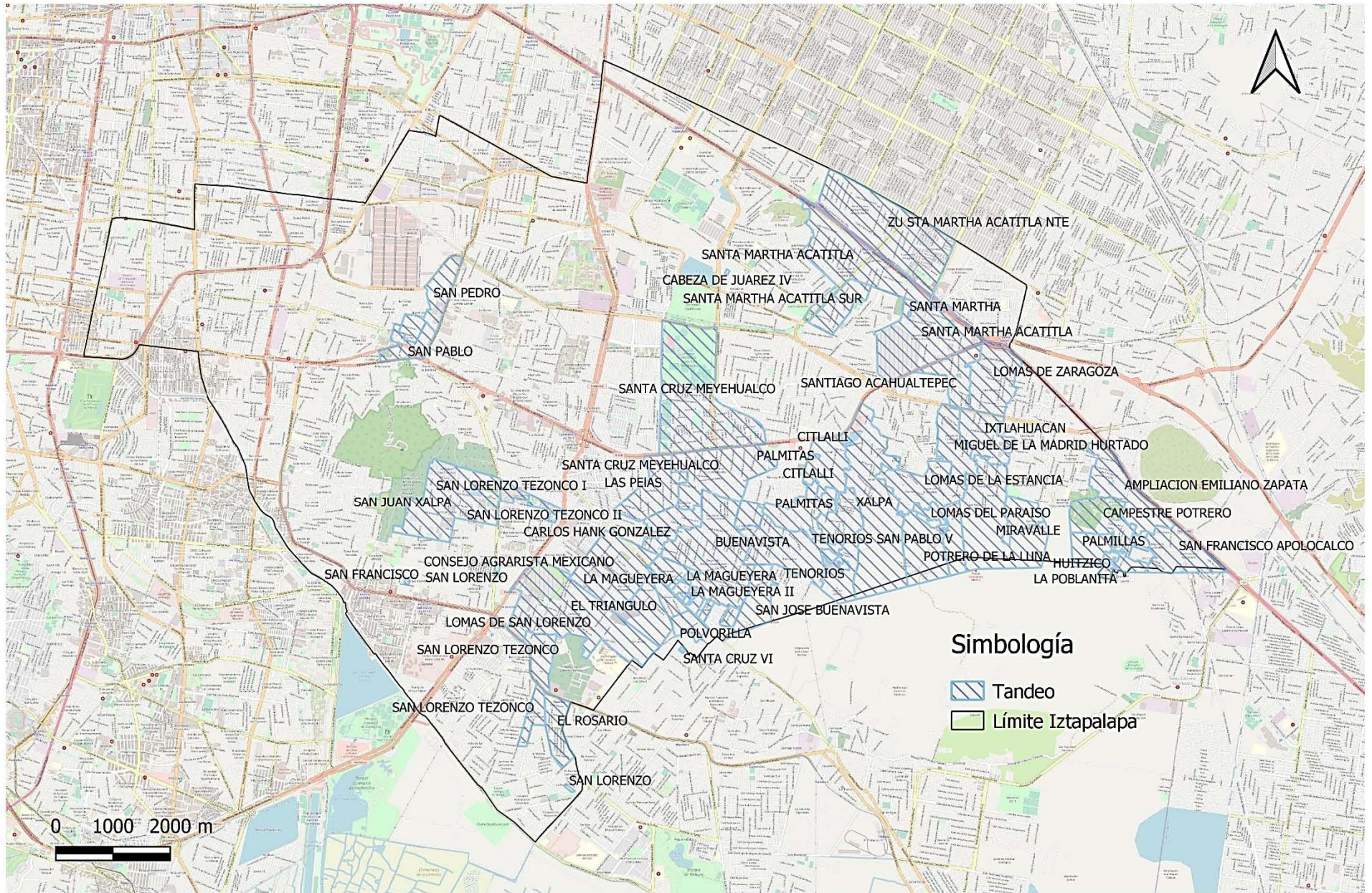


Figura 4-40 Colonias con tandeo

4.4 Caracterización del riesgo

Una vez identificados y clasificados los riesgos externos e internos individualmente, se realizó el análisis conjunto a través de la suma del puntaje de cada clasificación del riesgo.

En el Anexo 1 puede consultarse el resumen de la clasificación del riesgo interno por colonias, la Tabla contiene la información de la cantidad de pozos, plantas potabilizadoras y material y diámetro predominantes en el Anexo 2 puede consultarse el riesgo externo por colonias dependiendo del porcentaje de área que abarca cada factor.

Con la asignación del puntaje que se describe en el capítulo 3.5 Caracterización del riesgo, se logró la clasificación del riesgo por colonia. En la Figura 4-41 puede observarse las clasificaciones del riesgo externo y etiquetadas las 18 colonias que tienen la clasificación “Muy alto”, en la Figura 4-42 se muestra la caracterización del riesgo interno, en el mapa se encuentran los nombres de las colonias con mayor riesgo.

En la Tabla 4-7 se muestran la cantidad de colonias que corresponden a los distintos niveles de riesgo de acuerdo con el puntaje obtenido. La mayoría de las colonias se encuentran en la clasificación de riesgo alto externo y riesgo interno medio.

Es necesario mencionar que las colonias analizadas en los factores externos son 337 debido a que todas las colonias de la alcaldía presentan por lo menos un factor de riesgo. Al contrario de los factores internos, de las 337 sólo 248 presentan por los menos un factor.

Tabla 4-7. Número de colonias en cada clasificación

| Factores | Externos | Internos |
|---------------|-----------------|-----------------|
| Clasificación | No. de colonias | No. de colonias |
| Muy alto | 17 | 18 |
| Alto | 163 | 4 |
| Medio | 144 | 173 |
| Bajo | 13 | 49 |
| Muy Bajo | 0 | 3 |
| Total | 337 | 248 |

Las colonias que presentan mayor riesgo en factores externo e internos se observan en la tabla

Tabla 4-8. Colonias con la clasificación de riesgo Muy alto en Iztapalapa

| Riesgo Muy Alto Interno | No. Habitantes | % | Riesgo Muy Alto Externo | No. Habitantes | % |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|
| 1ª Ampliación Santiago Acahualtepec | 7,158 | 0.38 | Aculco | 5,178 | 0.27 |
| 2ª Ampliación Santiago Acahualtepec | 28,138 | 1.48 | Apatlaco | 10,543 | 0.56 |
| Ampliación Emiliano Zapata | 8,535 | 0.45 | Cabeza de Juárez IV | 97 | 0.01 |
| Casa Blanca | 4,053 | 0.21 | Carlos Pacheco | 303 | 0.02 |
| Chinampac de Juárez | 22,433 | 1.18 | El Triunfo | 11,104 | 0.59 |
| Leyes de Reforma 1ra sección | 6,800 | 0.36 | Ignacio Zaragoza (Helechos) | 268 | 0.01 |
| Lomas de San Lorenzo | 35,252 | 1.86 | Jardines de Churubusco | 1,791 | 0.09 |
| Lomas Estrella 2ª sección | 21,453 | 1.13 | La Antena | 380 | 0.02 |
| Panteón de San Lorenzo | 6,210 | 0.33 | La Antena (José Revueltas) | 533 | 0.03 |
| Reforma política | 14,179 | 0.75 | La Nueva Rosita | 4,504 | 0.24 |
| Ricardo Flores Magón | 5,441 | 0.29 | Magdalena Atlazolpa | 5,730 | 0.30 |
| San Francisco Apolocalco | 5,322 | 0.28 | Mariel Huerta Zamacona | 686 | 0.04 |
| San Juan Xalpa | 29,113 | 1.53 | Morelos 49 | 32 | 0.00 |
| San Miguel | 25,598 | 1.35 | Purísima Atlazolpa | 2,930 | 0.15 |
| San Miguel Teotongo | 52,163 | 2.75 | San Juanico Nextipac | 2,339 | 0.12 |
| Santa Cruz Meyehualco | 36,932 | 1.95 | Santiago Acahualtepec | 7,518 | 0.40 |
| Unidad Modelo | 6,934 | 0.37 | Unión Cívica Iztapalapa (UCI) | 101 | 0.01 |
| Xalpa | 32,662 | 1.72 | | | |
| Total | 348,376 | 18.37 | Total | 54,037 | 2.85 |

Clasificación Riesgo Externo

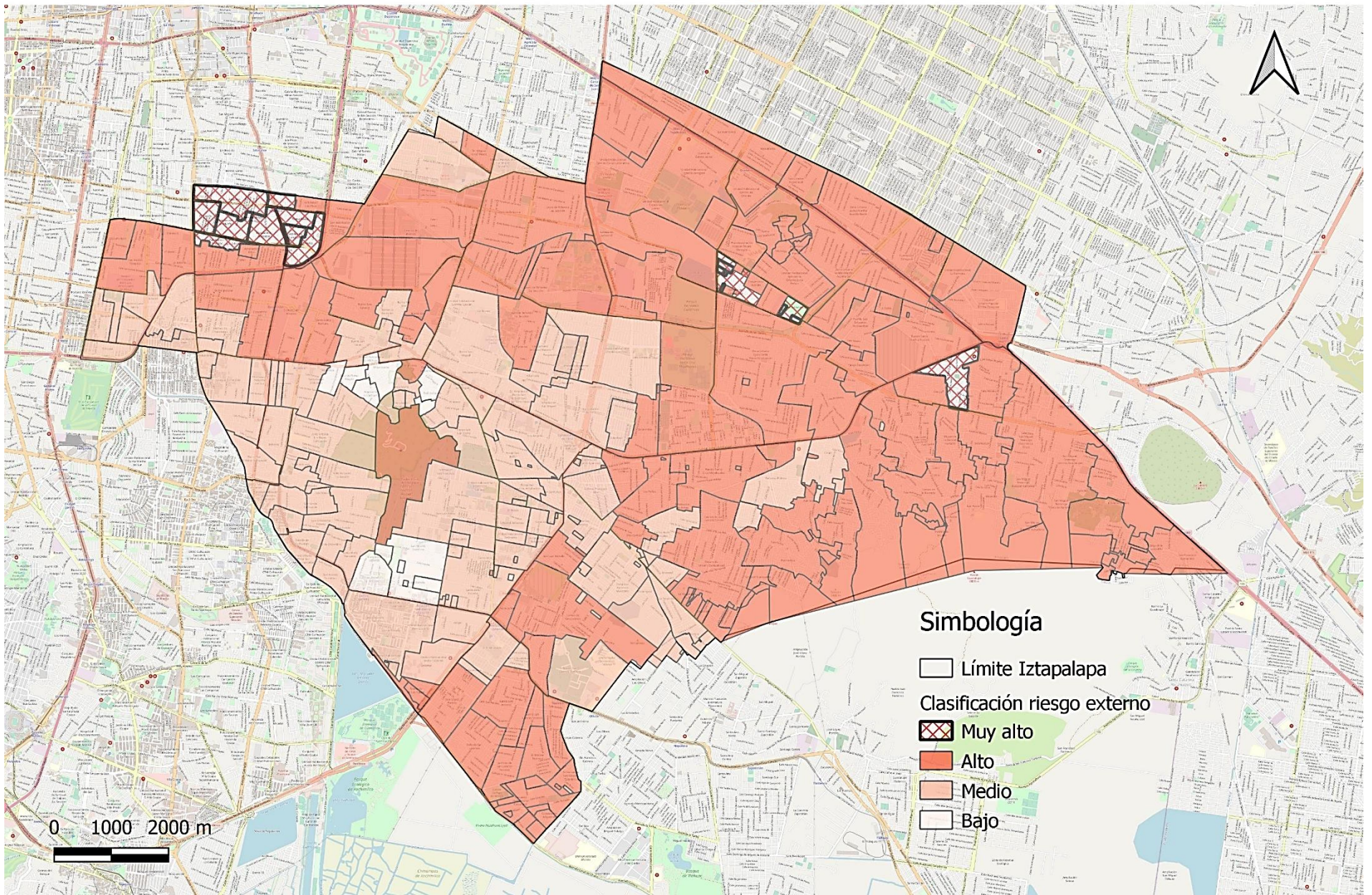


Figura 4-41. Caracterización del riesgo externo por colonia

Clasificación Riesgo Interno

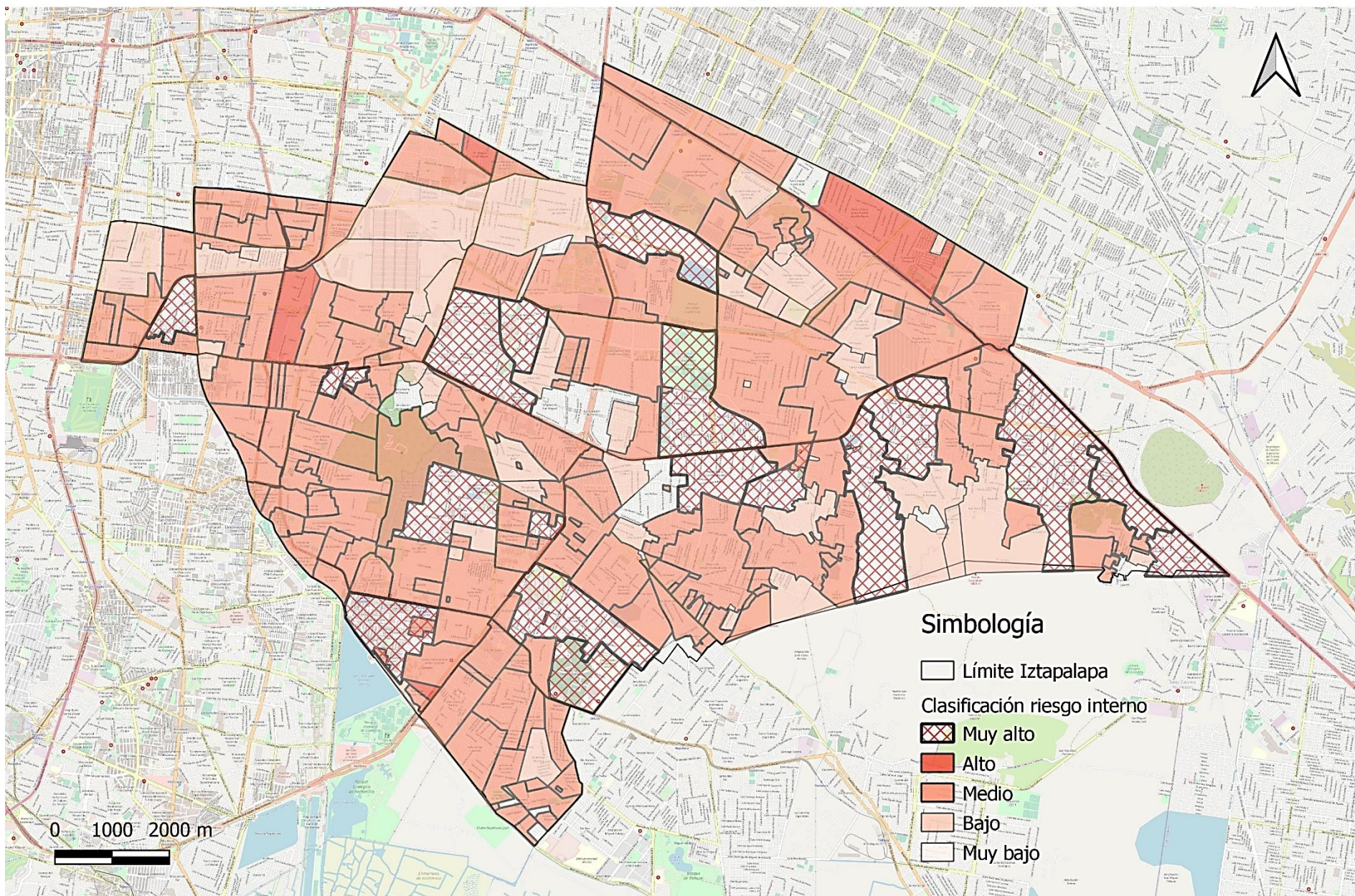


Figura 4-42. Caracterización del riesgo interno por colonia

4.5 Discusión de resultados

En México según el Banco Interamericano de Desarrollo, en 2011, la mitad de la población percibe como bueno el olor y color que tiene el agua, sin embargo, solo un tercio de la población percibe como bueno el sabor, siendo el sabor a cloro la característica organoléptica más rechazada.

El estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (2011) acerca del consumo de agua embotellada en México, en el cual se observa que el 81% de los participantes en el estudio reportan no beber del agua de la llave debido a que no se confía en la calidad potable, sin embargo, sí es utilizada por el 84% para lavar los dientes, 89% para bañar bebés, 76% lavar fruta y verduras, 54% para cocinar, 96% para lavar trastes y 98% para bañarse. La principal influencia para no beber el agua de la llave son los familiares y amigos.

En Iztapalapa la mayoría de la población compra agua embotellada para beber e incluso asearse, el promedio de consumo es de 575 litros de agua per cápita por año en la alcaldía (1.57 L/hab/día), esto se traduce en 29 botellones de 20 litros por año y para familias con ingresos de mil 500 pesos mensuales representa el 15% de sus ingresos (Montero, 2019). Además, Montero, 2019, indica que las grandes empresas al igual que las pequeñas purificadoras se encuentran presentes en las colonias donde el agua que comercializan sobrepasa los límites permisibles de algunos de los parámetros de la NOM-127-SSA1-1994, lo que inspira a pensar que la calidad del agua que se vende no cuenta con las condiciones de potabilidad suficientes.

Un primer aspecto para destacar de esta investigación es el procedimiento utilizado para identificar los peligros o posibles eventos peligrosos en la alcaldía de Iztapalapa con relación a los aspectos que inciden en la calidad del agua, el cual se estableció a partir de la adaptación de la metodología de la OMS (Bartram, et al., 2009) la cual se basa en el análisis de los factores dentro del sistema de abastecimiento (ver sección 2.4) que potencialmente pueden afectar la calidad del agua; estos factores se denominan factores internos en este estudio.

Además de estos factores internos, se incluyen al procedimiento factores externos, enfoque que se retoma a partir de la revisión de la experiencia de Uganda (Godfrey & Howard, 2005). Estos factores son externos al sistema de abastecimiento, se consideran los que pueden afectar la calidad y cantidad de agua que se suministra a la población, y son particularmente característicos de la alcaldía de Iztapalapa: las fallas geológicas que atraviesan el territorio de la alcaldía, el

proceso de hundimientos diferenciales, el riesgo sísmico, zonas de inundación, así como la presencia de tiraderos clandestinos y la vulnerabilidad de la población asociada a condiciones de marginación.

Con este enfoque en el procedimiento aplicado se incluye en el análisis de riesgo, además de los posibles eventos peligrosos que pueden ocurrir en el sistema de abastecimiento, los peligros externos que hacen más vulnerable a la alcaldía y que no están relacionados con la operación de las diferentes unidades que comprende el sistema, pero que si pueden dañar o limitar el funcionamiento de algunas componentes de la infraestructura instalada.

Al realizar el análisis de los factores externos, se observa que el riesgo geológico, la zonificación sísmica y las zonas de hundimiento son los que tienen mayor influencia en la determinación del riesgo. Esto debido a que estos fenómenos están mejor caracterizados al contar con más información, lo cual permite definir más intervalos para la clasificación de los niveles de riesgo al momento de establecer los puntajes. Los hundimientos y fallas geológicas son los más importantes, porque impactan directamente en el estado físico de la tubería ocasionando fugas y por lo tanto afectando la cantidad y calidad del agua que se está suministrando en la alcaldía.

Los tres factores externos restantes (tiraderos clandestinos, zonas de inundación y marginación) no están cabalmente representados en este estudio debido a que la información disponible es insuficiente, escasa o requiere de actualización.

Particular atención requiere la actualización e información detallada referente a los 220 tiraderos clandestinos, ya que pueden representar una fuente de contaminación del agua subterránea y de acuerdo con la información disponible están distribuidos en toda la alcaldía. Por ello, es necesario corroborar la localización, conocer qué tipo de tiradero es cada uno, antigüedad, en operación o cerrado, quién es la autoridad responsable de dar seguimiento a esta actividad, entre otros aspectos.

Respecto a los factores internos, es importante señalar que los mapas de riesgo desarrollados comprenden todas las componentes de la infraestructura del sistema de abastecimiento en Iztapalapa (pozos, potabilizadoras, tanques, líneas de tuberías), obtenidas a través de diferentes fuentes de información; algunas de ellas no actualizadas, otras incompletas y con carencia de información detallada que dé cuenta cómo opera este sistema, particularmente complejo en Iztapalapa.

Por ejemplo, hay pozos con incertidumbre de si opera o ya fueron cerrados/sellados apropiadamente o sólo están temporalmente fuera de operación por mantenimiento, reparación o rehabilitación.

Hay algo de información de los tanques de almacenamiento más grandes en la alcaldía (Cerro de la Estrella, Xaltepec, La Caldera), pero no hay detalles de capacidades y fuentes de suministro para los demás; además, para ninguno de estos tanques hay informes detallados de la población abastecida directamente por esta componente del sistema.

Los eventos de fallas en bombas, válvulas, procesos de tratamiento, fuga de agua de tubería, etc. no se encuentran compilados en una fuente de información y la que está disponible no permite determinar la distribución ni la frecuencia de estas, razón por la cual este aspecto tan relevante no está considerado en esta investigación. Cabe indicar que es necesario contar con por lo menos cinco años de datos para establecer con certidumbre la ocurrencia de los eventos de falla.

Respecto a la información sobre la calidad del agua a la que se tuvo acceso es limitada; sin embargo, refleja lo que ocurre en el sistema. Se tuvo información de los 5 parámetros que con mayor frecuencia presentan concentraciones reportadas en pozos y potabilizadoras mayores a la norma (Color, Nitrógeno amoniacal, Hierro total, Manganeso total y Turbiedad). Estos parámetros son indicadores de las principales quejas de la población: agua turbia, con color amarillo a oscuro y mal olor, pero no son los únicos.

A pesar de que Ramón Aguirre, ex director del SACMEX, en el 2015 reportaba una fuerte inversión, del orden de 100 millones de pesos, para el mantenimiento y rehabilitación de las plantas potabilizadoras existentes en Iztapalapa para mejorar la calidad del agua entregada, dentro del análisis de los factores internos, se observa que el factor determinante del riesgo es dependiente del que se presenta en las plantas potabilizadoras, por lo tanto, la información necesaria para documentar la manera de operar es fundamental. Las eficiencias negativas que se reportan en el trabajo (Tabla 4-6) indican que los procesos están funcionando de manera deficiente; por ello, el muestreo entre cada operación unitaria es necesario para implementar medidas correctivas y de mantenimiento.

Si se tuviese un mayor número de registros de muestras de agua y de parámetros de la calidad del agua, la clasificación y asignación de puntajes sería diferente y enriquecería esta investigación. Esto debido a que si la concentración reportada supera por un pequeño porcentaje no

corresponde al mismo nivel de riesgo que cuando la concentración de la muestra duplica o triplica la concentración de los límites permisibles. Al representar las magnitudes de las concentraciones en exceso, estas permitirían generar una alerta en donde se tienen los mayores peligros.

Dentro de las tablas (Tabla 4-4 y Tabla 4-5) que muestran la calidad del agua en las potabilizadoras se observan renglones vacíos, lo que indica que no existen mediciones, es decir, se toman muestras, pero no se analizan para ese parámetro, el organismo operador tiene que lograr que se realicen todos los análisis de las muestras.

Por lo anterior, algunas recomendaciones específicas para enriquecer esta investigación son: Es necesario documentar las características físicas de los tanques de almacenamiento y rebombeo, además de establecer un programa de monitoreo y control de la calidad del agua en ellos. También es necesario establecer las campañas de monitoreo en la red de distribución, establecer la periodicidad de la toma de muestras y la ubicación estratégica para abarcar de mejor manera la red. Si la periodicidad de las tomas de muestras y análisis fuese más cercana, las categorías establecidas para evaluar la calidad del agua, tanto en pozos como en las plantas potabilizadoras, serían más, aumentando el puntaje y puntualizando la alerta en la infraestructura.

Mención especial requiere el tandeo en Iztapalapa dado que podría mejorar el análisis y la evaluación si se conocieran los periodos de ausencia del suministro y evaluando el impacto del tandeo en las actividades domésticas y económicas.

Hay dos factores internos que no se consideraron por falta de información pero que son relevantes en la identificación de ciertos riesgos potenciales: el primero es la cloración en los pozos que van directamente a la red y donde se clora el agua antes de ingresar a la red de distribución. Al respecto, cabe indicar que se desconoce la dosificación utilizada y en las visitas realizadas se observaron fallas en las bombas dosificadoras, el almacenamiento del cloro no era adecuado y la concentración del cloro utilizado no se encontraba al porcentaje necesario para lograr la desinfección.

El segundo factor se refiere a que el organismo operador utiliza sustancias químicas que dosifica en los pozos que van directamente a la red de distribución que lo que hacen es encapsular el hierro y el manganeso, lo que resuelve aparentemente el problema del color que presenta el agua,

sin embargo, estos parámetros se encuentran al realizar las pruebas analíticas pertinentes para determinarlos.

En conclusión, considerando las colonias identificadas con los riesgos alto y muy alto para los factores externos de riesgo geológico y hundimientos, sobrepuestas con las correspondientes a los internos de calidad el agua (Figura 4-43) se advierten zonas donde convergente estos 3 factores y zonas con al menos dos de esos factores, donde estarían los sitios prioritarios para iniciar con un programa de vigilancia/monitoreo e identificar medidas apropiadas para la el control iterativo de los riesgos. El procedimiento desarrollado y la identificación de estas zonas es la aportación de esta investigación al proceso iterativo inicial que sigue la identificación de peligros o eventos peligrosos en un plan de seguridad del agua, con el claro potencial de mejorarse con información más robusta de los factores considerados.

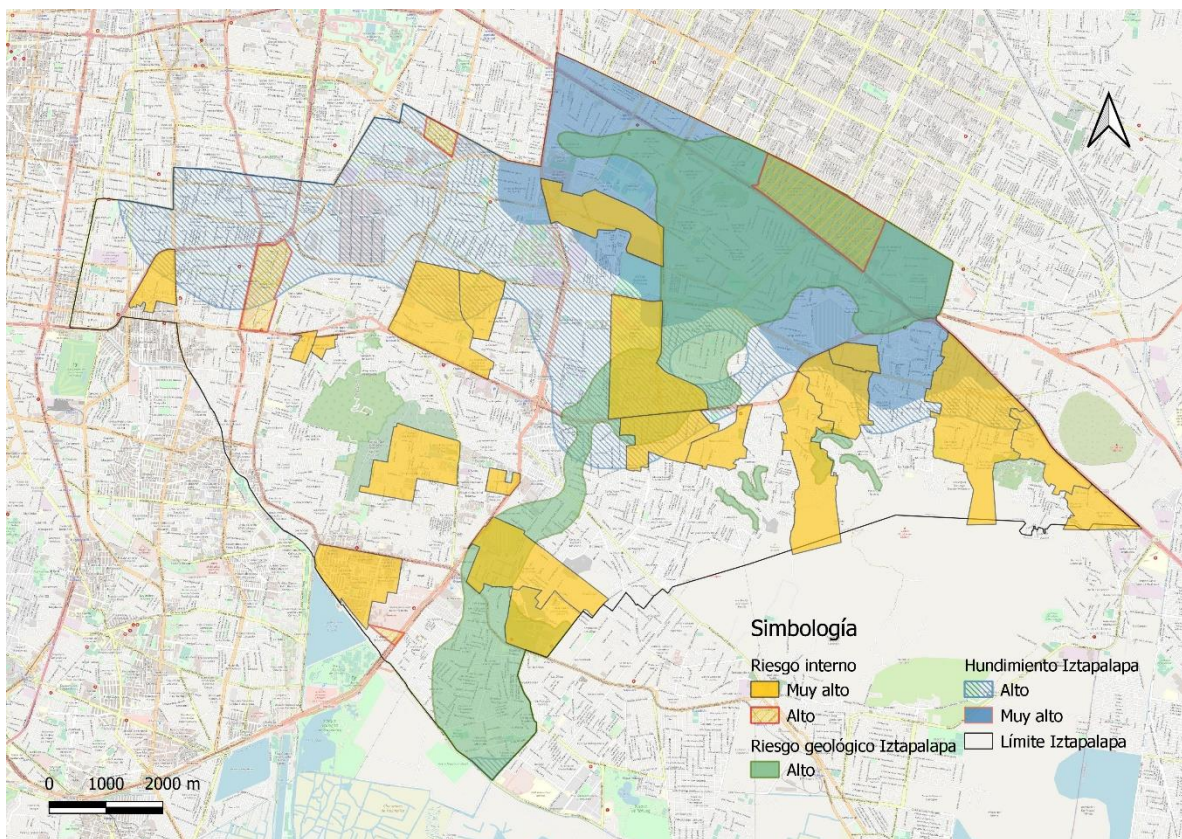


Figura 4-43. Zonas de mayor riesgo para el sistema

En Iztapalapa, la cantidad y calidad del agua deben ser evaluadas de manera conjunta, si bien hay colonias que no presentan problemas en cuanto a la cantidad suministrada, es importante

monitorear la calidad del agua debido a las concentraciones presentadas en pozos y las bajas eficiencias de remoción que se observan en las plantas potabilizadoras.

La población que no recibe el suministro de manera continua se enfrenta a los problemas de calidad del agua que surgen del llenado y vaciado de la tubería ocasionando la resuspensión de biopelículas y permitiendo el ingreso de contaminantes orgánicos en estas.

Para las fechas de término de esta investigación empieza a surgir información nueva con respecto a la sectorización de la red en la alcaldía de Iztapalapa; la sectorización propicia una mejor operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento, permitiendo ubicar la población y áreas beneficiadas por el sistema. Con la información que la sectorización podrá brindar, el análisis de riesgo podría ser más detallado, realizar una mejor clasificación y con ellos detectar problemas no considerados en este análisis. Conocer el diseño y funcionamiento de la sectorización, la calidad del agua en sus componentes esenciales y la dirección del flujo y la población beneficiada permitirá establecer con menor incertidumbre los puntos de control y así proponer una red de monitoreo/vigilancia y control espacial y temporal para el sistema.

5. Conclusiones

En esta investigación se realizó una serie de mapas, mediante un procedimiento construido a partir de la aplicación de los planes de seguridad del agua y casos de gestión de riesgo. El procedimiento está basado en la asignación de puntajes y construcción de distintas categorías de riesgo que muestran que hay 337 colonias en la Alcaldía Iztapalapa con un mayor riesgo de presentar una calidad de agua no deseable para la población.

En este estudio se logró un avance en la descripción actualizada del sistema de abastecimiento de la alcaldía de Iztapalapa al incluirse referencias y algunos datos recolectados mediante entrevistas a los operadores y encargados del sistema de abastecimiento. La documentación del sistema que se presentó contempla los aspectos más relevantes para la operación, sin embargo, hay información necesaria que no siempre está disponible y que no cuenta con la calidad suficiente para el análisis de todos los elementos del sistema.

La identificación de los eventos peligrosos se realizó mediante la clasificación de factores de riesgo que pueden existir en el medio en el cual fue desarrollado el sistema (externos: riesgo geológico, hundimientos, zonas sísmicas, inundaciones, tiraderos clandestinos y grado de marginación urbana) y factores de riesgo que pueden presentarse en la operación del sistema (internos tales como el tandeo, fuente, potabilización del agua almacenamiento y distribución).

Los riesgos geológicos y hundimientos son los factores externos que más afectan el sistema de abastecimiento donde la Sierra de Santa Catarina y Peñón del Marqués son las más influenciadas por este fenómeno. La operación de las plantas potabilizadoras en la alcaldía es el principal elemento de los factores internos, donde se observa que los procesos de potabilización están operando de manera inadecuada al no remover los parámetros e incluso aumentarlos.

Las colonias que presentan un mayor puntaje pertenecen a las categorías de riesgo alto y muy alto, estas fueron representadas en los mapas, y de acuerdo con la gestión del riesgo, estas colonias son las que deben atenderse primero.

Los planes de seguridad del agua son procesos iterativos, por lo que el mapa de riesgo por colonias, presentado en este trabajo, es una primera aproximación de la caracterización del riesgo en la alcaldía. Donde convergen las zonas de riesgo alto y muy alto de los factores internos, los riesgos geológicos altos y los mayores hundimientos proporcionan sitios para iniciar un programa de vigilancia y monitoreo.

La clasificación de los factores de riesgo aquí establecidos, abarcan los principales problemas a los que se enfrenta quien se encuentra en la dirección del sistema de abastecimiento, sin embargo, deben ser actualizados y detallados, e incluir nuevos factores para gestionar de mejor manera la operación del sistema y lograr la optimización del recurso hídrico en cuanto a la cantidad y calidad del agua entregada. Se identifican 17 colonias con riesgo muy alto en cuanto a factores externos y 18 con riesgo muy alto en factores internos. La mayoría de las colonias se encuentran en riesgo medio para factores internos, y alto para factores externos.

La metodología del riesgo adaptada para esta alcaldía puede aplicarse a las demás alcaldías pertenecientes a la Ciudad de México debido a la incorporación de características generales y a la vasta existencia de problemas hidráulicos en Iztapalapa.

5.1 Recomendaciones

Para mejorar los resultados obtenidos es necesario contar con la ruta de distribución del agua, las zonas que son abastecidas y la población que se beneficia con ese suministro.

Algunos factores externos que se analizaron en este estudio: tiraderos clandestinos, zonas de inundación y marginación, pueden ser incorporados apropiadamente mediante un estudio detallado. En el caso de los tiraderos clandestinos, incluir la antigüedad y la clase de desechos que se encuentran ahí. Se recomienda actualizar los datos de marginación y los datos de inundación, así como establecer diferentes periodos de retorno para las inundaciones.

Para poder establecer las frecuencias de falla en la operación del sistema de abastecimiento se recomienda realizar un formato de registro periódico y de riguroso cumplimiento en cada una de las componentes del sistema, con ello, la consulta de los datos se sistematiza, además de que aportaría evidencias cuantitativas para asignar niveles de riesgo.

Se recomienda documentar la frecuencia y duración del tandeo, así pueden identificarse las colonias con mayor déficit en la entrega del servicio.

La presencia de las fugas en la tubería, así como también las presiones de operación, son factores internos muy importantes porque inciden en alterar la calidad del agua al combinarse con otros factores como el tandeo, tan frecuente en la alcaldía de Iztapalapa, por lo que se recomienda agregar estos factores con información detallada para realizar un mejor análisis.

Se recomienda poner especial atención en las zonas donde converge los factores de riesgo alto para atender los problemas que se presentan en el sistema. Estas zonas también indican los sitios para establecer un programa de vigilancia y monitoreo.

Referencias

- Aguirre, R. (2018). Vecinos tienen poca tolerancia por escasez de agua: Ramón Aguirre. *El Excelsior*, 02 03.
- Alatorre, A. (2010). Advierte CONAGUA desabasto por sequía. *El mañana*, 5 marzo.
- Aldaz, P. & Bojorges, J. A. (2018). Desabasto de agua en Iztapalapa rebasa a las autoridades. *El Universal*, 06 12, p. 2.
- Amézquita Marroquín, C. P., Perez Vidal, A. & Torres Lozada, P. (2014). Evaluación del riesgo en sistemas de distribución de agua potable en el marco de un plan de seguridad del agua. *Revista ELA*, 11(21), pp. 157-169.
- Arancibia Carvajal, S. & Contreras Villablanca, E. (2016). *Evaluación multicriteria y su aplicabilidad en la evaluación de proyectos públicos*. Santiago de Chile, XXI Congreso Internacional del CLAD.
- Arec Cruz, S., Ramos Hernández, L. S., Vargas Herrera, I. B. & Villarejo Caso, A. (2010). *Análisis físico-químico y biológico del agua en la Ciudad de México*. s.l.:XXVI Congreso de Investigación CUAM.
- Argueta, M. (2010). *PSA y su interrelación con la metodología de análisis de riesgos y puntos críticos de control (HACCP)*. Ciudad Universitaria, Ciudad de México., AIDIS.
- Arias, B. R., Bejarano, D. M. & Zafra, C. A. (2014). Mapa de riesgos para la calidad del agua en sistemas de abastecimiento municipales. Un caso colombiano.. *Revista ingeUAN*, 4(8), pp. 55-68.
- Atencio P., R. M., Reyes L., J. A. & Guevara G., J. A. (2013). Evaluación de riesgo ambiental en un tiradero con quema de basura. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), pp. 107-117.
- Banco Mundial. (2013). *Agua Urbana en el Valle de México: ¿un camino verde para mañana?*. Washington D.C.: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.
- Bartram, J. et al. (2009). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua. Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Bautista Tadeo, A. (2017). *Afectación al suministro de agua de las redes de tuberías de distribución ante un sismo*, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- BID. (2011). *La otra infraestructura hidráulica de América Latina*, s.l.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Bosshart, U. (2003). HACCP Hazard Analysis and Critical Control Points at the Zurich Water Supply. En: SVGW, ed. *HACCP in Drinking Water Supplies*. Suiza: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, p. 30 .
- Cabero Almenara, J. & Llorente Cejudo, M. d. C. (2013). La aplicación del juicio de experto como técnica de evaluación de las tecnologías de la información y la comunicación.. *Revista de tecnología de Información y Comunicación en Educación*, 7(2), pp. 11-22.
- Carreón Freyre, D. C. (2011). *Identificación y caracterización de los diferentes tipos de fracturas que afectan el subsuelo de la delegación Iztapalapa del Distrito Federal*, Ciudad de México, Distrito Federal: s.n.
- CENAPRED. (2019). *Centro Nacional de Prevención de Desastres*. [En línea] Available at: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- César Valdez, E. (1994). *Abastecimiento de agua potable*. Cuarta ed. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- CONAGUA. (2008). *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*, s.l.: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2014). *Estadísticas del agua en México Edición 2014*. Coyoacán, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Establecimiento de Medidas Preventivas, de Seguridad y Diseño de Obras de Protección de la Infraestructura de Agua Potable en Situaciones de Emergencia*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua .
- CONAGUA. (2018). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento dde Aguas Residuales en Operación*. Ciudad de México: s.n.
- CONAPO. (2019). *Consejo Nacional de Población*. [En línea] Available at: <https://www.gob.mx/conapo>
- Delfín Technologies. (2018). *Delfín Technologies Especialistas en Soluciones para Tratamiento de Agua*. [En línea] Available at: <https://deltech.com.mx/equipo/1/desgasificador> [Último acceso: 11 octubre 2019].

- Dewettink, T. y otros. (2001). HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production - a case study. *Water Science and Technology*, 43(12), pp. 31-38.
- DOF. (1994). *Norma Oficial Mexicana NOM 012-SSA1-1993. Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.* s.l.:Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (1994). *Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.* s.l.:Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2001). *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.* s.l.:Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2001). *Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.* s.l.:Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (2003). *NORMA Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua.* s.l.:s.n.
- Escolero Fuentes, O. A., Martínez, S. E., Kralish, S. & Perevochtchikova, M. (2009). *Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto del cambio climático*, Ciudad de México: Instituto de Geología.
- Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, Issue 89, pp. 195-219.
- Fuentes, D. (2018). Bloqueo de colonos en Iztapalapa por el desabasto de agua. *La Jornada*, 06 12, p. 2.
- Gatto D'Andrea, M. L. y otros. (2011). Un plan de seguridad del agua para la ciudad de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Volumen 15, p. 8.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2019). *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, Ciudad de México: Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México.

- Godfrey, S. & Howard, G. (2005). *Water safety plans - Book 1: Planning water safety management for urban piped water supplies in developing countries*. Loughborough University: Loughborough: WEDC.
- Godfrey, S. & Howard, G. (2005). *Water Safety Plans: Book 2. Supporting Water Safety Management for Urban Piped Water Supplies in Developing Countries..* Loughborough University, UK: WEDC.
- Godfrey, S. y otros. (2002). Improving risk assessment and management in urban water supplies. 28 *WEDC Conference Sustainable Environmental sanitation and water services*, p. 4.
- Godfrey, S., Niwagaba, C., Howard, G. & Tibantemwa, S. (2003). *Water Safety Plans for Utilities in Developing Countries - A case study from Kampala, Uganda*, Loughborough University: WEDC.
- Gonzalez Villareal, F., Aguirre Díaz, R. & Lartigue, C. (2016). Percepciones, actitudes y conductas respecto al servicio de agua potable en la Ciudad de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(6), pp. 41-56.
- González Villarreal, F. J. y otros. (2013). *Análisis de opciones para el abastecimiento futuro de agua potable a la Zona Metropolitana del Valle de México*, Ciudad de México: s.n.
- Grupo UNI Barranquilla. (2015). *Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano: Análisis de tendencia de variables para consolidar mapas de riesgo. El caso de los municipios ribereños del departamento del Atlántico*. Barranquilla: , Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales (IDEHA) Universidad del Norte. Universidad del Norte.
- Gunther, G. (2010). Entre el lucro y la desigualdad: los. En: *Injusticia social, identidad e inequidad: Retos de la modernidad*. México, DF: MC Editores.
- Guzman B., B. L., Nava T., G. & Bevilacqua, P. D. (2016). Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia: desafíos para la salud ambiental. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(2), pp. 175-183.
- INEGI (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Ciudad de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y Geográfico de la Ciudad de México*, Ciudad de México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Salud. (2013). *Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia*, Colombia: s.n.

- Iriburo, A., de Lima, A. & Ormaechea, S. (2013). Planes de seguridad de agua: Estrategia para la diseminación en sistemas de abastecimiento de agua en Uruguay. *XXXIII Congreso Interamericano AIDIS*, p. 7.
- Iriburo, A. y otros. (2012). PLANES DE SEGURIDAD DE AGUA; ARTICULANDO EL NUEVO PARADIGMA. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO CIUDAD DE DOLORES/URUGUAY. *ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, p. 8.
- Iztapalapa. (2002). *Delegación Iztapalapa, Historia*. [En línea] Available at: <http://www.iztapalapa.df.gob.mx/htm/historia.html> [Último acceso: 20 Octubre 2018].
- Iztapalapa. (2011). *Atlas de riesgos naturales de la delegación Iztapalapa, México DF*, Ciudad de México: Iztapalapa.
- Iztapalapa. (2012). *Alcaldía de Iztapalapa. Población*. [En línea] Available at: <http://www.iztapalapa.cdmx.gob.mx/alcaldia/#.same> [Último acceso: 28 Octubre 2018].
- Machorro Martínez, M. Á., Antonio Coronado, R. & Rojas Jardines, J. (2013). *Estudio sobre la escasez de agua potable en Iztapalapa*. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Exposición de Carteles.
- Mälzer, H. -J., Staben, N., Hein, A. & Merkel, W. (2010). Identification, assessment, and control of hazards in water supply: experiences from Water Safety Plan implementations in Germany. *Water Science & Technology*, 61(5), pp. 1307-1315.
- Mazari Hiriart, M., López Vidal, Y. & Jimenez Cisneros, B. (2005). *El agua y su impacto en la salud pública*. Ciudad de México: El Colegio de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Fundación Gonzalo Río Arronte, 2005 .
- Melbourne Water. (2003). *Drinking Water QMS. HACCP/ISO 9001 Quality Manual*, Melbourne: Melbourne Water.
- Merkova, R. (2017). *Naciones Unidas*. [En línea] Available at: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- Ministry of Health Jamaica. (2007). *Water Safety Plan Spanish Town Water Supply St. Catherine, Jamaica*, St. Catherine, Jamaica: PAHO/EPA/CDC for the Ministry of Health Jamaica.

- Montero, D. (2019). *Instituciones y actores. Un enfoque alternativo para entender el consumo de agua embotellada en México*. Ciudad de México: tirant humanidades.
- Montero, D., Gómez, E., Carrillo, G. & Rodriguez, L. (2009). *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua*. Primera edición ed. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Mora Alvarado, D., Fonseca Chanto, R. & Portuguez Barquero, C. F. (2011). *Lo intangible de los planes de seguridad del agua*, Cartago, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados Laboratorio Nacional de Aguas.
- Morales Mesa, Y. & González Díaz, O. (2001). Análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 12(4), pp. 46-50.
- Nájera Rodríguez, M. (2013). *Peligros por fallas, fracturas y hundimientos del suelo en la Delegación Iztapalapa*, Ciudad de México: Programa de Formación Especializada en Gestión Integral de Riesgos de Desastre.
- OMS. (2002). Definición y evaluación de los riesgos para la salud. En: s.l.:Organización Mundial de la Salud, p. 20.
- OMS. (2004). *Guías para la calidad del agua potable*. Tercera edición ed. s.l.:Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable: Vol. 1. Recomendaciones*. Tercera Edición ed. s.l.:Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2011). *Bangladesh*, Bangladesh: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2011). *Bhutan*, Bután: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2014). *Water safety in distribution systems*. Australia: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2015). *A practical guide to auditing water safety plans*, Tailandia: Organización Mundial de la Salud.
- ONU, (2014). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. [En línea] Available at: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- OPS-Guyana. (2009). *Plan de seguridad del agua de Linden Guyana*, Linden, Guyana: OPS-Guyana.

- Pérez Vidal, A., Torres Lozada, P. & Cruz Vélez, C. H. (2009). Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de la implementación en Colombia. *Revista Ingeniería e Investigación*, 29(3), pp. 79-85.
- Programa de Servicios Agrícolas Provinciales. (2010). *Manual de Calidad del Agua*. Tucuman: s.n.
- SACMEX. (2012). *Sistema de Aguas de la Ciudad de México*. [En línea] Available at: <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de> [Último acceso: 20 Octubre 2018].
- Salazar Vargas, M. d. P. (2014). *Vulnerabilidad social a la disminución del suministro hídrico en el Distrito Federal. El caso de los efectos en la salud y el ingreso de los hogares en Iztapalapa 1984-2030*. Tijuana, Baja California: s.n.
- Sandoval, et al.. (2016). Valoración económica del agua potable en la delegación Iztapalapa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), pp. 1467-1475.
- Secretaría Distrital de Salud. (2014). *Mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano*, Bogotá, D.C.: s.n.
- SEDEMA. (2019). *Secretaría del Medio Ambiente*. [En línea] Available at: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/>
- SEDESOL. (2013). *Catálogo de localidades*. [En línea] Available at: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=09&mun=007> [Último acceso: 20 junio 2020].
- SEDESOL. (2014). *Diagnóstico del programa para el desarrollo de zonas prioritarias*, s.l.: SEDESOL.
- SGIRPC. (2014). *Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México. Actualización de los Mapas de Riesgo*, Ciudad de México: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil.
- SGIRPC. (2019). *Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil*. [En línea] Available at: <https://www.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/>
- Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades*, Guadalajara, Jalisco: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- Slovic, P. (1986). Informing and educating the public about risk.. *Risk Analysis*, Volumen 6, pp. 403-415.

- Sorlini, S. y otros. (2017). Water Safety Plan for drinking water risk management: the case study of Mortara (Pavia, Italy). *Revista Ambiente & Água*, 12(4), p. 14.
- SSN. (2019). *Servio Sismológico Nacional*. [En línea]
Available at: <http://www.ssn.unam.mx/>
- Taborda Zúñiga, D. F. & Venegas Zambrano, W. Y. (2016). *Elaboración del mapa de riesgos de calidad del agua para consumo humano de la Quebrada La Hoya en el Municipio de Zipaquirá Cundimarca*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Terracón Ingeniería. (2011). *Atlas de Riesgos Naturales de la Delegación Iztapalapa, México, D.F.*, Distrito Federal: Delegación Iztapalapa.
- Tsoukalas, D. S. & Tsitsifli, S. (2018). A Critical Evaluation of Water Safety Plans (WSPs) and HACCP Implementation in Water Utilities. *Proceedings*, 600(2), p. 8.
- URSEA. (2018). *Reglamento de Planes de Seguridad del Agua*, Montevideo: Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua.
- Vairavamoorthy, K. y otros. (2006). *Water Safety Plans: Book 3. Risk Assesment of Contaminant Intrusion into Water Distribution Systems*. Loughborough University, UK.: WEDC.
- Vera Perez, M. & Lopez Blanco, J. (2010). Evaluación de amenazas por inundaciones en el centro de México:. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Issue 73, pp. 22-40.

Anexos

Anexo 1. Clasificación del riesgo interno por colonia

| Nombre | Riesgo Tubería | Riesgo Pozos | Riesgo Plantas Potabilizadoras | Puntaje final | Clasificación |
|-------------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| 12 de diciembre | 7 | | | 7 | Medio |
| 1a Ampliación Santiago Acahualtepec | 6 | 2 | 7 | 15 | Muy alto |
| 2a Ampliación Santiago Acahualtepec | 7 | 2 | 7 | 16 | Muy alto |
| 8a de San Miguel | 7 | | | 7 | Medio |
| Aculco | 7 | | | 7 | Medio |
| Alcanfores | 7 | | | 7 | Medio |
| Allepetlali | 7 | | | 7 | Medio |
| Álvaro Obregón | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| Ampliación Emiliano Zapata | 7 | | 6 | 13 | Muy alto |
| Año de Juárez | 6 | 1 | | 7 | Medio |
| Apatlaco | 7 | | | 7 | Medio |
| Arboledas Zafiro | 7 | | | 7 | Medio |
| Art 4to constitucional | 7 | | | 7 | Medio |
| Bandijal | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Barrancas de Guadalupe | 6 | | | 6 | Bajo |
| Bellavista | 7 | | | 7 | Medio |
| Benito Juárez | 7 | | | 7 | Medio |
| Bertha Von Bloumer | 6 | | | 6 | Bajo |
| Bosques de Iztapalapa | 7 | | | 7 | Medio |
| Buenavista | 7 | | | 7 | Medio |
| Cabeza de Juárez IV | 7 | | | 7 | Medio |
| Cabeza de Juárez V | 4 | | | 4 | Bajo |
| Cacama | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| Campestre Potrero | 7 | | | 7 | Medio |
| Cananea | 7 | | | 7 | Medio |
| Carlos Hank González | 7 | | | 7 | Medio |
| Carlos Pacheco | 6 | | | 6 | Bajo |
| Carmen Serdán | 0 | 3 | | 3 | Muy bajo |
| Casa Blanca | 5 | 2 | 9 | 16 | Muy alto |
| Cerro de la estrella | 7 | | | 7 | Medio |
| Chinampac de Juárez | 7 | 1 | 6 | 14 | Muy alto |
| Chinampas de Santa María Tomatlán | 4 | 1 | | 5 | Bajo |
| Citlalli | 7 | | | 7 | Medio |
| Colonial Iztapalapa | 6 | | | 6 | Bajo |
| Concordia Zaragoza | 7 | | | 7 | Medio |

| Nombre | Riesgo Tubería | Riesgo Pozos | Riesgo Plantas Potabilizadoras | Puntaje final | Clasificación |
|--------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Consejo Agrarista Mexicano | 7 | | | 7 | Medio |
| Constitución de 1917 | 7 | | | 7 | Medio |
| Cuchillas del Moral | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Cuitlahuac | 7 | | | 7 | Medio |
| Culhuacan | 7 | | | 7 | Medio |
| De la selva | 7 | | | 7 | Medio |
| Degollado | 7 | | | 7 | Medio |
| Degollado chico | 6 | | | 6 | Bajo |
| Desarrollo urbano Quetzalcoatl | 7 | | | 7 | Medio |
| Dr Alfonso Ortiz Tirado | 7 | | 5 | 12 | Alto |
| Ejército de Agua Prieta | 0 | 2 | 4 | 6 | Bajo |
| Ejército de Oriente | 0 | 1 | | 1 | Muy bajo |
| El edén | 7 | | | 7 | Medio |
| El manto | 7 | | | 7 | Medio |
| El mirador | 7 | | | 7 | Medio |
| El molino | 6 | | | 6 | Bajo |
| El prado | 7 | | | 7 | Medio |
| El retoño | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| El rodeo | 7 | | | 7 | Medio |
| El rosario | 7 | | | 7 | Medio |
| El santuario | 7 | | | 7 | Medio |
| El sifón | 4 | | | 4 | Bajo |
| El triángulo | 7 | | | 7 | Medio |
| El triunfo | 7 | | | 7 | Medio |
| El vergel | 7 | | | 7 | Medio |
| Emiliano Aguilar Garces | 7 | | | 7 | Medio |
| Ermita | 7 | | | 7 | Medio |
| Ermita Zaragoza | 7 | | | 7 | Medio |
| Escuadrón 201 | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Estado de Anahuac | 7 | | | 7 | Medio |
| Esteñar el retiro | 6 | | | 6 | Bajo |
| Estrella Culhuacan | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Estrella del sur | 7 | | | 7 | Medio |
| F P F V (Predio El molino) | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Francisco Villa | 7 | | | 7 | Medio |
| Fuego nuevo | 7 | | | 7 | Medio |
| Fuentes de Zaragoza | 7 | | | 7 | Medio |
| Fuerte de Loreto | 6 | | | 6 | Bajo |
| Granjas Esmeralda | 7 | | | 7 | Medio |

| Nombre | Riesgo Tubería | Riesgo Pozos | Riesgo Plantas Potabilizadoras | Puntaje final | Clasificación |
|------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Granjas Estrella | 7 | | | 7 | Medio |
| Granjas San Antonio | 4 | 2 | 4 | 10 | Alto |
| Guadalupe | 7 | | | 7 | Medio |
| Guadalupe del Moral | 7 | | | 7 | Medio |
| Herminio Chavarria | 6 | | | 6 | Bajo |
| Héroes de Churubusco | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| Huitzico | 7 | | | 7 | Medio |
| Ignacio Zaragoza (Helechos) | 7 | | | 7 | Medio |
| Insurgentes | 7 | | | 7 | Medio |
| Ixtlahuacan | 6 | | | 6 | Bajo |
| Jacarandas | 7 | | | 7 | Medio |
| Jardines de Churubusco | 7 | | | 7 | Medio |
| Jardines de San Lorenzo | 6 | 2 | | 8 | Medio |
| José Lopez Portillo | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| José María Morelos y Pavón | 7 | | | 7 | Medio |
| Juan Escutia | 6 | 2 | | 8 | Medio |
| Justo Sierra | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| La asunción | 7 | | | 7 | Medio |
| La colmena | 7 | | | 7 | Medio |
| La era | 7 | | | 7 | Medio |
| La esperanza | 6 | | | 6 | Bajo |
| La estación | 7 | | | 7 | Medio |
| La joya | 7 | | | 7 | Medio |
| La magueyera | 4 | | | 4 | Bajo |
| La nueva rosita | 7 | | | 7 | Medio |
| La planta | 7 | | | 7 | Medio |
| La poblanita | 7 | | | 7 | Medio |
| La polvorilla | 7 | | | 7 | Medio |
| La regadera | 7 | | | 7 | Medio |
| La torre | 7 | | | 7 | Medio |
| Las américas | 7 | | | 7 | Medio |
| Las cruces | 7 | | | 7 | Medio |
| Las peñas | 5 | | | 5 | Bajo |
| Las rosas | 7 | | | 7 | Medio |
| Leyes de Reforma 1ra sección | 7 | 2 | 6 | 15 | Muy alto |
| Leyes de Reforma 2da sección | 7 | | | 7 | Medio |
| Leyes de Reforma 3ra sección | 4 | 2 | | 6 | Bajo |
| Lomas de la estancia | 6 | | | 6 | Bajo |
| Lomas de San Lorenzo | 6 | 2 | 7 | 15 | Muy alto |

| Nombre | Riesgo Tubería | Riesgo Pozos | Riesgo Plantas Potabilizadoras | Puntaje final | Clasificación |
|--------------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Lomas de Santa Cruz Meyehualco | 7 | | | 7 | Medio |
| Lomas de Zaragoza | 8 | | | 8 | Medio |
| Lomas del Pedregal | 7 | | | 7 | Medio |
| Lomas Estrella 1a sección | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Lomas Estrella 2a sección | 7 | 1 | 5 | 13 | Muy alto |
| Lomas Estrella III | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Los ángeles | 7 | | | 7 | Medio |
| Los ángeles Apanoaya | 7 | | | 7 | Medio |
| Los cipreses | 7 | | | 7 | Medio |
| Los picos VI B | 7 | | | 7 | Medio |
| Los reyes | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| Luis Donald Colosio | 7 | | | 7 | Medio |
| Magdalena Atlazolpa | 7 | | | 7 | Medio |
| Mexicaltzingo | 4 | | | 4 | Bajo |
| Miguel de la Madrid Hurtado | 7 | | | 7 | Medio |
| Miguel de la Madrid II | 7 | | | 7 | Medio |
| Minerva | 7 | | | 7 | Medio |
| Mirasoles | 7 | | | 7 | Medio |
| Miravalle | 6 | | | 6 | Bajo |
| Mixcoatl | 7 | | | 7 | Medio |
| Morelos I | 6 | | | 6 | Bajo |
| Morelos II | 7 | | | 7 | Medio |
| Nueva generación | 7 | | | 7 | Medio |
| Nueva Santa Cruz | 7 | | | 7 | Medio |
| Ojito de agua | 7 | | | 7 | Medio |
| Opalo | 6 | | | 6 | Bajo |
| Opus III | 6 | | | 6 | Bajo |
| Palmillas | 7 | | | 7 | Medio |
| Palmitas | 4 | | | 4 | Bajo |
| Panteón de San Lorenzo | 7 | 2 | 7 | 16 | Muy alto |
| Paraiso | 7 | | | 7 | Medio |
| Paraje San Juan | 6 | | | 6 | Bajo |
| Paraje San Juan 2a amp | 6 | | | 6 | Bajo |
| Paraje San Juan Joya | 7 | | | 7 | Medio |
| Paraje Zacatepec | 6 | | | 6 | Bajo |
| Parajes Buenavista (TETECON) | 5 | | | 5 | Bajo |
| Parque Nacional Cerro de la Estrella | 8 | | | 8 | Medio |

| Nombre | Riesgo Tubería | Riesgo Pozos | Riesgo Plantas Potabilizadoras | Puntaje final | Clasificación |
|------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Paseos de Churubusco | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| Peñon viejo | 7 | | | 7 | Medio |
| Plan de Iguala | 4 | | | 4 | Bajo |
| Plazas Estrella | 7 | | | 7 | Medio |
| Polvorilla | 7 | | | 7 | Medio |
| Popular Oriente | 6 | | | 6 | Bajo |
| Potrero de la Luna | 6 | | | 6 | Bajo |
| Predio Bonampak | 6 | | | 6 | Bajo |
| Predio Degollado | 7 | | | 7 | Medio |
| Predio San Pedro y San Pablo | 8 | | | 8 | Medio |
| Predio San Rafael | 6 | | | 6 | Bajo |
| Predio Xaltepec | 7 | | | 7 | Medio |
| Presidente | 7 | | | 7 | Medio |
| Presidentes de México | 7 | | | 7 | Medio |
| Progresista | 6 | | | 6 | Bajo |
| Progreso del sur | 7 | | | 7 | Medio |
| Puente blanco | 7 | | | 7 | Medio |
| Purísima Atlazolpa | 7 | | | 7 | Medio |
| Purísima I | 7 | | | 7 | Medio |
| Real del Moral | 7 | | | 7 | Medio |
| Real La Joya | 7 | | | 7 | Medio |
| Reforma educativa | 7 | | | 7 | Medio |
| Reforma política | 7 | 1 | 6 | 14 | Muy alto |
| Renovación | 8 | | | 8 | Medio |
| Ricardo Flores Magón | 7 | 2 | 4 | 13 | Muy alto |
| Sabadel Bellavista | 7 | | | 7 | Medio |
| San Andrés Tetepilco | 4 | | | 4 | Bajo |
| San Andrés Tomatlán | 7 | | | 7 | Medio |
| San Antonio | 6 | 2 | | 8 | Medio |
| San Antonio Culhuacan | 7 | | | 7 | Medio |
| San Felipe Terremotes | 7 | | | 7 | Medio |
| San Francisco Apolocalco | 7 | | 6 | 13 | Muy alto |
| San Ignacio | 7 | | | 7 | Medio |
| San José | 6 | | | 6 | Bajo |
| San José Aculco | 7 | | | 7 | Medio |
| San José Buenavista | 7 | | | 7 | Medio |
| San Juan Cerro | 7 | | | 7 | Medio |
| San Juan Xalpa | 7 | 2 | 6 | 15 | Muy alto |
| San Lorenzo Tezonco | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| San Lorenzo Tezonco I | 7 | | | 7 | Medio |

| Nombre | Riesgo Tubería | Riesgo Pozos | Riesgo Plantas Potabilizadoras | Puntaje final | Clasificación |
|--------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| San Lorenzo Tezonco II | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| San Lorenzo Xicotencatl | 7 | | | 7 | Medio |
| San Lucas | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| San Miguel | 7 | 2 | 6 | 15 | Muy alto |
| San Miguel Teotongo | 6 | 2 | 5 | 13 | Muy alto |
| San Nicolas Tolentino | 7 | | | 7 | Medio |
| San Pablo | 7 | | | 7 | Medio |
| San Pablo I y II | 6 | | | 6 | Bajo |
| San Pablo V | 6 | | | 6 | Bajo |
| San Pedro | 6 | | | 6 | Bajo |
| San Sebastian Tecoloxtitlan | 6 | | | 6 | Bajo |
| San Simón Culhuacan | 7 | | | 7 | Medio |
| Santa Bárbara | 7 | | | 7 | Medio |
| Santa Cruz Meyehualco | 7 | 2 | 6 | 15 | Muy alto |
| Santa Isabel Industrial | 7 | | | 7 | Medio |
| Santa María Aztahuacan | 5 | 2 | | 7 | Medio |
| Santa María Aztahuacan V | 6 | | | 6 | Bajo |
| Santa María del Monte | 7 | | | 7 | Medio |
| Santa María Tomatlán | 7 | | | 7 | Medio |
| Santa Martha Acatitla | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| Santa Martha Acatitla sur | 5 | 2 | | 7 | Medio |
| Santa Rosa | 6 | | | 6 | Bajo |
| Santiago Acahualtepec | 8 | | | 8 | Medio |
| Sector Popular | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| Sideral | 3 | | | 3 | Muy bajo |
| Sierra del Valle | 7 | | | 7 | Medio |
| SINATEL | 7 | | | 7 | Medio |
| Solidaridad El salado | 7 | | | 7 | Medio |
| Taxistas del DF | 6 | | | 6 | Bajo |
| Tejocotes | 7 | | | 7 | Medio |
| Tenorios | 7 | | | 7 | Medio |
| Tepalcates | 7 | | | 7 | Medio |
| Texcoco El salado | 4 | | | 4 | Bajo |
| Tezozomoc | 5 | | | 5 | Bajo |
| Tlanezicalli | 7 | | | 7 | Medio |
| Triángulo de las agujas I | 7 | | | 7 | Medio |
| Triángulo de las agujas II | 7 | 3 | | 10 | Alto |
| Tula | 7 | 1 | | 8 | Medio |
| UH Ejército Constitucionalista | 7 | | | 7 | Medio |
| UH Ejército de Oriente II | 6 | | | 6 | Bajo |

| Nombre | Riesgo Tubería | Riesgo Pozos | Riesgo Plantas Potabilizadoras | Puntaje final | Clasificación |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| UH Margarita Maza de Juárez | 6 | | | 6 | Bajo |
| Unidad Modelo | 7 | 1 | 6 | 14 | Muy alto |
| USCOVI | 7 | | | 7 | Medio |
| Valle de luces | 7 | | | 7 | Medio |
| Valle de San Lorenzo | 7 | | | 7 | Medio |
| Valle del sur | 7 | | | 7 | Medio |
| Vicente Guerrero | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| Violeta Arboledas | 7 | | | 7 | Medio |
| Xalpa | 7 | 2 | 6 | 15 | Muy alto |
| Zacahuitzco | 4 | | | 4 | Bajo |
| Zona militar FAVE SEDENA | 7 | 2 | | 9 | Medio |
| ZU Santa Martha Acatitla Norte | 7 | 2 | 1 | 10 | Alto |
| Ejército constitucionalista | 7 | | | 7 | Medio |
| Ejército de agua prieta | 7 | | | 7 | Medio |
| Ejército de oriente | 5 | | | 5 | Bajo |
| San Juanico Nextipac | 7 | | | 7 | Medio |

Anexo 2. Clasificación del riesgo externos por colonia

| Nombre | Muy alto Área (m ²) | Alto Área (m ²) | Medio Área (m ²) | Bajo Área (m ²) | Clasificación |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| 12 de diciembre | | | 207,528.90 | | Medio |
| 1a Ampliación Acahualtepec | 153,355.99 | 208,491.08 | | | Alto |
| 2a Ampliación Acahualtepec | 2,989.18 | 1,076,086.13 | 136,574.50 | | Alto |
| 5 de mayo | | 5,260.00 | | | Alto |
| 8a de San Miguel | | | 206,156.78 | 9,305.00 | Medio |
| Aculco | 167,756.70 | 99,600.42 | | | Muy alto |
| Adame Macias | | 2,020.00 | | | Alto |
| Alcanfores | | | 22,770.70 | | Medio |
| Alheli Árbol INFONAVIT | | | 8,650.00 | | Medio |
| Allepetlali | | 40,108.07 | 29,438.00 | | Alto |
| Álvaro Obregón | 137,531.23 | 557,108.21 | | | Alto |
| Amanecer Canal de Garay | | | 9,100.00 | | Medio |
| Ampliación Emiliano Zapata | | 796,759.10 | | | Alto |
| Año de Juárez | | 100,735.00 | 45,383.62 | | Alto |
| Apatlaco | 438,250.48 | 658.36 | | | Muy alto |
| Aquiles Serdán | | 2,210.00 | | | Alto |
| Arboledas | | | 133,780.40 | 25,600.00 | Medio |
| Arboledas Zafiro | | 6,680.00 | 4,099.00 | | Alto |
| Art. 4to Constitucional | | 84,970.63 | | | Alto |
| Bandijal | | 31.30 | 270,982.80 | | Medio |
| Barrancas de Guadalupe | | 38,708.70 | | | Alto |
| Bellavista | | 147.60 | 104,822.71 | | Medio |
| Benito Juárez | | 4,090.00 | 181,569.94 | | Medio |
| Bertha Von Bloumer | | | 45,668.00 | | Medio |
| Bilbao | | | 5,841.50 | | Medio |
| Bosques de Iztapalapa | | | | 18,200.00 | Bajo |
| Brigada Morelos I | | 3,200.00 | | | Alto |
| Buenavista | | 972,563.53 | | | Alto |
| Cabeza de Juárez IV | 4,210.00 | | | | Muy alto |
| Cabeza de Juárez V | | 14,755.64 | | | Alto |
| Cacama | | 22,707.10 | 208,495.46 | | Medio |
| Camino viejo | | | 1,420.00 | | Medio |
| Campestre Potrero | | 638,025.23 | | | Alto |
| Canal de Garay | | | 3,815.00 | | Medio |
| Cananea | | 212,998.86 | 106,019.00 | | Alto |
| Carlos Hank González | | 1,575.20 | 413,352.50 | | Medio |
| Carlos Pacheco | 10,700.00 | 263.00 | | | Muy alto |
| Carmen Serdán | | 51,885.98 | | | Alto |
| Casa Blanca | | | 195,121.36 | | Medio |
| CE Cualli Ohtli | | 46,371.50 | | | Alto |
| Cedros | | 9,930.00 | 7,160.00 | | Alto |
| Cerro de la Estrella | | 75,023.00 | 774,625.47 | 216,510.34 | Medio |
| Chinampac de Juárez | 479,080.00 | 958,570.73 | 357.10 | | Alto |
| Chinampas de Santa María Tomatlán | | 53,514.00 | 46,054.70 | | Alto |
| Cipreces del Sur | | | 2,238.00 | | Medio |

| Nombre | Muy alto Área (m ²) | Alto Área (m ²) | Medio Área (m ²) | Bajo Área (m ²) | Clasificación |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Citlalli | | 11,099.35 | 544,644.89 | | Medio |
| Colonial Iztapalapa | | 109,093.13 | 214,669.00 | | Medio |
| Comunidad Guadalupeana | | | 2,650.00 | 1,420.00 | Medio |
| Concordia Zaragoza | | 85,835.00 | | | Alto |
| Consejo Agrarista Mexicano | | 401,199.03 | 657,272.19 | | Medio |
| Constitución de 1917 | | 111,187.23 | 940,482.27 | 24,402.60 | Medio |
| Cuauhtemoc | | 2,640.00 | | | Alto |
| Cuchilla La Magueyera | | 6,487.00 | 829.50 | | Alto |
| Cuchillas Del Moral | | 9,384.43 | 197,084.15 | | Medio |
| Cuitlahuac | | | 40,789.60 | | Medio |
| Culhuacan | | | 251,734.74 | 17,620.84 | Medio |
| De la Selva | | | 28,093.40 | | Medio |
| Degollado | | 41,663.88 | | | Alto |
| Degollado Chico | | 69,811.17 | | | Alto |
| Del Arbol FOVISSSTE | | | 8,950.00 | | Medio |
| Del Valle | | 212.00 | 29,300.00 | | Medio |
| Desarrollo Urbano Quetzalcoatl | 1,216.40 | 1,279,078.64 | 456,407.40 | | Alto |
| Dr Alfonso Ortiz Tirado | | 227,678.70 | 1,290.96 | | Alto |
| Ejército Constitucionalista | | 17,388.50 | | | Alto |
| Ejército de Agua Prieta | 463,779.11 | 288,861.23 | | | Muy alto |
| Ejército de Oriente | 126,204.83 | 540,422.67 | | | Alto |
| El Árbol | | 1,280.00 | | | Alto |
| El Árbol FIVIDESU | | | 13,737.40 | | Medio |
| El Edén | | 135,601.32 | | | Alto |
| El Manto | | 5,883.00 | 239,712.21 | 154,170.00 | Medio |
| El Mirador | | | 43,071.00 | 24.10 | Medio |
| El Molino | | 382,033.90 | 130,643.21 | | Alto |
| El Parque | | 19,100.00 | | | Alto |
| El Prado | | | 223,974.54 | | Medio |
| El Retoño | 188,209.62 | 281,193.34 | 46.30 | | Alto |
| El Roble | | 7,427.00 | | | Alto |
| El Rodadero | | 39,400.00 | | | Alto |
| El Rodeo | | 5,017.80 | 218,919.66 | | Medio |
| El Rosario | | 194,431.91 | 160,250.89 | 2,040.00 | Alto |
| El Santuario | | | 143,471.60 | 257,773.66 | Bajo |
| El Sifón | 127,423.03 | 521,960.60 | | | Alto |
| El Tesoro | | | 19,043.00 | | Medio |
| El Triángulo | | | 558,002.73 | | Medio |
| El Triunfo | 424,218.32 | | | | Muy alto |
| El Vergel | | 36,090.00 | 416,985.70 | | Medio |
| Emiliano Aguilar Garces | | 13,529.08 | | | Alto |
| Ermita | | 1,080.00 | 58,124.80 | | Medio |
| Ermita Zaragoza | 67,208.00 | 1,087,979.93 | 308.00 | | Alto |
| Escuadrón 201 | | 585,573.45 | 63,765.00 | | Alto |
| España | | | 8,130.00 | 12,992.40 | Bajo |
| Espuma Chamizal | | 168.00 | 5,279.00 | | Medio |
| Estado de Anahuac | | | | 94,085.76 | Bajo |

| Nombre | Muy alto Área (m ²) | Alto Área (m ²) | Medio Área (m ²) | Bajo Área (m ²) | Clasificación |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Estado de Veracruz | | | 39,541.00 | | Medio |
| Estelar El Retiro | | | 11,710.00 | | Medio |
| Estrella Culhuacan | | | 120,319.80 | 74,735.90 | Medio |
| Estrella del Sur | | 122,706.00 | 430,607.08 | 104,201.70 | Medio |
| F P F V (Predio El Molino) | | 82,376.90 | | | Alto |
| Fase II | | 10,365.00 | 131.00 | | Alto |
| Francisco Villa | | 80,653.86 | 352,447.69 | | Medio |
| Fuego Nuevo | | 2,792.00 | 640,593.45 | 101,878.44 | Medio |
| Fuentes de Siracusa | | | 10,100.00 | | Medio |
| Fuentes de Zaragoza | | 34,614.61 | | | Alto |
| Fuerte de Loreto | 233.06 | 160,498.85 | | | Alto |
| Genaro Estrada | 0.67 | 5,780.00 | | | Alto |
| Granjas Esmeralda | | | 514,522.10 | | Medio |
| Granjas Estrella | | | 58,753.86 | 781,086.11 | Bajo |
| Granjas San Antonio | 88,491.90 | 516,108.74 | 238,424.40 | | Alto |
| Guadalupe | | 52,122.90 | 67,320.00 | | Medio |
| Guadalupe del Moral | | 729,774.05 | 98,962.00 | | Alto |
| Herminio Chavarría | | 11,700.00 | | | Alto |
| Héroes de Churubusco | | 172,831.32 | 251,944.88 | | Medio |
| Huasipungo | | 9,013.72 | | | Alto |
| Huitzico | | 39,500.00 | | | Alto |
| Ignacio Zaragoza (Helechos) | 11,600.00 | | | | Muy alto |
| INFONAVIT | | 5,610.00 | | | Alto |
| Insurgentes | | 114,612.84 | 102,174.47 | | Alto |
| Ixtlahuacan | 270,548.78 | 278,494.20 | | | Alto |
| Jacarandas | 23,640.67 | 440,695.75 | 4,564.61 | | Alto |
| Jardines de Churubusco | 95,840.20 | 438.00 | | | Muy alto |
| Jardines de San Lorenzo | | 386,138.63 | | | Alto |
| Jongitud Barrios | | | 16,960.00 | | Medio |
| José López Portillo | | 689,466.09 | 4,374.90 | | Alto |
| José María Morelos y Pavón | | 61,197.23 | | | Alto |
| Juan Escutia | 366,116.50 | 1,022,760.40 | | | Alto |
| Justo Sierra | | | 153,055.00 | | Medio |
| La Antena | 10,500.00 | | | | Muy alto |
| La Antena (José Revueltas) | 14,700.00 | | | | Muy alto |
| La Asunción | | 79,910.00 | 168,383.28 | | Medio |
| La Cañada | | 97,758.00 | | | Alto |
| La Colmena | | 415,660.85 | | | Alto |
| La Era | | 262,070.15 | 108,543.10 | | Alto |
| La Esperanza | | | 68,232.97 | | Medio |
| La Estación | | | 56,563.80 | | Medio |
| La Joya | | 93,017.08 | | | Alto |
| La Joyita | | 18,579.67 | | | Alto |
| La Magueyera | | 69,582.07 | 44,893.83 | | Alto |
| La Magueyera I | | | 12,978.10 | | Medio |
| La Magueyera II | | | 7,430.03 | | Medio |
| La Nueva Rosita | 171,825.90 | 66.40 | | | Muy alto |

| Nombre | Muy alto Área (m²) | Alto Área (m²) | Medio Área (m²) | Bajo Área (m²) | Clasificación |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| La Planta | | 194,500.80 | 15.07 | | Alto |
| La Poblanita | | 43,040.00 | | | Alto |
| La Polvorilla | | 37,254.76 | 337,372.45 | | Medio |
| La Regadera | | | 39,695.30 | | Medio |
| La Torre | | | 13,566.84 | | Medio |
| Las Américas | | 492.00 | 163,564.82 | | Medio |
| Las Cruces | | 78,282.00 | | | Alto |
| Las Minas | | | 3,940.00 | | Medio |
| Las Palmas | | | 7,480.00 | 4,606.00 | Medio |
| Las Peñas | | 498,676.06 | 181,225.80 | | Alto |
| Las Rocas | | | 3,380.00 | | Medio |
| Las Rosas | | 19,149.00 | 5,556.90 | | Alto |
| Leyes de Reforma 1ra Sección | | 475,505.85 | 230,954.03 | | Alto |
| Leyes de Reforma 2a Sección | | 1,282,071.52 | 753.00 | | Alto |
| Leyes de Reforma 3a Sección | | 1,930,001.07 | 3,604.29 | | Alto |
| Lomas de la Estancia | | 772,859.01 | 325.00 | | Alto |
| Lomas de San Lorenzo | | 967,885.95 | 962,154.31 | 92.00 | Alto |
| Lomas de Santa Cruz Meyehualco | | 76,131.66 | 89,622.95 | | Medio |
| Lomas de Zaragoza | 247,977.75 | 530,708.12 | 1.53 | | Alto |
| Lomas del Manto | | 56.00 | 24,759.06 | 37,405.00 | Bajo |
| Lomas del Paraiso | | 90,241.30 | | | Alto |
| Lomas del Pedregal | | 309,362.80 | | | Alto |
| Lomas Estrella 1a Sección | | | 25,964.01 | 341,405.14 | Bajo |
| Lomas Estrella 2a Sección | | 13,687.91 | 1,065,518.01 | 216,981.98 | Medio |
| Lomas Estrella III | | | 1,321.20 | 65,057.81 | Bajo |
| Los Ángeles | | 18,028.00 | 953,186.50 | | Medio |
| Los Ángeles Apanoaya | | 14,810.72 | 134,405.21 | | Medio |
| Los Cipreses | | | 74,469.20 | 474.78 | Medio |
| Los Picos VI B | 55,206.80 | 58,142.80 | | | Alto |
| Los Reyes | | 251,060.00 | 907,411.73 | 37,248.88 | Medio |
| Lucio Blanco | | 3,800.00 | 2,900.00 | | Alto |
| Luis Donald Colosio | 6,846.00 | 11,650.00 | | | Alto |
| Magdalena Atlazolpa | 290,285.47 | 478.05 | | | Muy alto |
| Mariel Huerta Zamacona | 28,220.00 | 1,430.00 | | | Muy alto |
| Matamoros | | 4,927.00 | | | Alto |
| Mayorazgo | | 4,230.00 | | | Alto |
| Mexicaltzingo | | | 202,740.61 | | Medio |
| Miguel de la Madrid Hurtado | 202,792.56 | 301,849.35 | | | Alto |
| Miguel de la Madrid II | | 54,800.00 | | | Alto |
| Minas Polvorilla | | | 83,151.30 | | Medio |
| Minerva | | 6.76 | 85,662.56 | 4,447.11 | Medio |
| Mirasoles | | | 471,125.21 | | Medio |
| Miravalle | | 1,412,303.35 | | | Alto |
| Mixcoatl | | 57,381.46 | 141,003.19 | | Medio |
| Monarca | | | 1,810.00 | | Medio |
| Monte Albán | | 33,563.10 | 167.00 | | Alto |
| Moras San Nicolás | | | 5,240.00 | | Medio |

| Nombre | Muy alto Área (m²) | Alto Área (m²) | Medio Área (m²) | Bajo Área (m²) | Clasificación |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Morelos 49 | 1,490.00 | | | | Muy alto |
| Morelos 55 | 258.00 | 4,990.00 | | | Alto |
| Morelos I | | 20,738.85 | | | Alto |
| Morelos II | | | 9,450.00 | | Medio |
| Moyocoyani | | 7,453.30 | | | Alto |
| Na Hal Ti | | 8,633.00 | | | Alto |
| Nalen | | 323.00 | 939.00 | | Medio |
| Niños Héroes | | 6,272.00 | | | Alto |
| Nueva Aztlán | | | 9,260.00 | | Medio |
| Nueva Generación | | 119,072.37 | | | Alto |
| Nueva Santa Cruz | | 1,256.00 | 3,938.20 | | Medio |
| Ojito de Agua | | 19,790.60 | | | Alto |
| Ola Verde | | 3,520.00 | | | Alto |
| Opalo | | | 13,600.00 | | Medio |
| OPUS III | | | 10,210.01 | | Medio |
| Pamillas | | 299,867.20 | | | Alto |
| Palmitas | | 364,730.30 | 197,873.29 | | Alto |
| Panteón de San Lorenzo | | 112,335.66 | 950,669.40 | | Medio |
| Paraiso | 12,480.41 | 658,403.56 | | | Alto |
| Paraje San Juan | | 224,715.81 | 290,416.96 | | Medio |
| Paraje San Juan 2A Ampliación | | 34,388.00 | 107,189.66 | | Medio |
| Paraje San Juan Joya | | | 170,389.24 | | Medio |
| Paraje Zacatepec | 12,086.00 | 445,670.11 | | | Alto |
| Parajes Buenavista (TETECON) | | 577,917.94 | | | Alto |
| Parque Nacional Cerro de la Estrella | | 804,956.84 | 727,753.70 | 7,600.00 | Alto |
| Paseos de Churubusco | | 319,401.37 | 697,362.90 | | Medio |
| Peñon Viejo | | 86,620.00 | | | Alto |
| Plan de Iguala | | | 53,452.15 | 116,204.22 | Bajo |
| Plaza Estrella II | | | 10,100.00 | | Medio |
| Plaza Estrella Uno | | 15,820.31 | | | Alto |
| Plazas Estrella | | | 37,860.00 | | Medio |
| Plenitud | | 28,852.00 | | | Alto |
| Polvorilla | | 20,291.85 | 163,188.69 | | Medio |
| Popular Oriente | | 9,644.41 | 230,180.53 | | Medio |
| Potrero de la Luna | | 571,050.40 | | | Alto |
| Predio Bonampak | | 7,239.41 | | | Alto |
| Predio Degollado | | 102,220.90 | 52,184.46 | | Alto |
| Predio San Pedro y San Pablo | | 29,282.63 | | | Alto |
| Predio San Rafael | | 15,625.20 | | | Alto |
| Predio Xaltepec | | 24,738.40 | | | Alto |
| Presidente | | | 11,300.00 | | Medio |
| Presidentes de México | | 50,109.10 | 495,745.83 | | Medio |
| Presidentes II | | | 21,110.00 | | Medio |
| Progresista | | 25,403.74 | 668,837.70 | | Medio |
| Progreso del Sur | | 2,510.00 | 244,471.41 | 793.08 | Medio |
| Puente Blanco | | 218,890.97 | 106,177.89 | | Alto |
| Purísima Atlazolpa | 104,985.30 | 982.00 | | | Muy alto |

| Nombre | Muy alto Área (m ²) | Alto Área (m ²) | Medio Área (m ²) | Bajo Área (m ²) | Clasificación |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Purísima I | | 214,454.80 | 3,028.00 | | Alto |
| Quetzalcoatl | | | 2,437.81 | | Medio |
| Real del Moral | | 661.69 | 156,375.17 | | Medio |
| Real La Joya | | | 13,027.53 | | Medio |
| Rebeca II | | 3,930.00 | 5,510.00 | | Medio |
| Reforma Educativa | | 36,070.00 | | | Alto |
| Reforma Política | | 22,356.61 | 638,098.72 | 205.00 | Medio |
| Renovación | 232,765.09 | 1,298,067.65 | | | Alto |
| Ricardo Flores Magón | | | 9,595.91 | 265,900.54 | Bajo |
| Rinconada El Molino | | 56,159.30 | | | Alto |
| Rinconada Estrella | | | 18,800.00 | | Medio |
| Río Blanco | | | 2,290.00 | | Medio |
| Ruben Jaramillo | | | 2,240.00 | | Medio |
| Sabadel | | | 4,785.70 | | Medio |
| Sabadel Bellavista | | 596.00 | 38,877.00 | | Medio |
| San Andrés Tetepilco | 100,159.00 | 698,417.40 | 2,700.83 | | Alto |
| San Andrés Tomatlan | | | 305,529.40 | | Medio |
| San Antonio | | 772,063.52 | 14,668.30 | | Alto |
| San Antonio Culhuacan | | 13,043.60 | 624,547.78 | | Medio |
| San Felipe Terremotes | | | 106,046.57 | | Medio |
| San Francisco | | | | 7,160.00 | Bajo |
| San Francisco Apolocalco | | 566,011.43 | 16,742.00 | | Alto |
| San Francisco de Asís | | | | 6,620.00 | Bajo |
| San Ignacio | 52,996.51 | 263,071.28 | 137,085.00 | | Alto |
| San José | 365,528.08 | 1,350,368.60 | 57,397.00 | | Alto |
| San José Aculco | 168,754.73 | 222,650.90 | | | Alto |
| San José Buenavista | | 410,452.69 | 25,277.00 | | Alto |
| San Juan | | | 2,070.00 | | Medio |
| San Juan Cerro | | 55,136.80 | 464,742.37 | | Medio |
| San Juan Xalpa | | 90,798.27 | 1,331,734.74 | 1,595.00 | Medio |
| San Juanico Nextipac | 104,156.50 | 51,713.87 | | | Muy alto |
| San Lorenzo | | 8,570.00 | 12,948.90 | | Medio |
| San Lorenzo Tezonco | | 528,792.59 | 7,079.70 | | Alto |
| San Lorenzo Tezonco I | | 23,407.71 | 83,046.00 | | Medio |
| San Lorenzo Tezonco II | | | 91,842.80 | | Medio |
| San Lorenzo Xicotencatl | 159,307.00 | 233,179.64 | | | Alto |
| San Lucas | | 5,776.70 | 471,963.25 | 37,646.63 | Medio |
| San Miguel | | 348,913.80 | 1,531,922.08 | 1,648.70 | Medio |
| San Miguel Teotongo | 575,449.12 | 2,394,431.80 | 451.00 | | Alto |
| San Nicolas Tolentino | | 138.12 | 311,902.15 | | Medio |
| San Pablo | | | 307,670.31 | | Medio |
| San Pablo I y II | | 258,560.00 | | | Alto |
| San Pablo V | | 8,437.40 | | | Alto |
| San Pedro | | 311,611.40 | 202,255.60 | | Alto |
| San Sebastian Tecoloxtitlan | 55.32 | 561,496.82 | | | Alto |
| San Simón Culhuacan | | | 180,857.79 | | Medio |
| Santa Bárbara | 176,477.39 | 289,995.86 | 239,086.15 | | Alto |

| Nombre | Muy alto Área (m²) | Alto Área (m²) | Medio Área (m²) | Bajo Área (m²) | Clasificación |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Santa Cruz Meyehualco | 1,351,844.28 | 1,877,449.14 | 216,383.40 | | Alto |
| Santa Cruz VI | | | 3,079.00 | | Medio |
| Santa Cruz VII | | | 4,089.70 | | Medio |
| Santa Isabel Industrial | | 896.00 | 296,466.97 | 172,188.70 | Medio |
| Santa María Aztahuacan | 929,960.79 | 2,853,330.28 | 340,005.96 | | Alto |
| Santa María Aztahuacan V | | | 7,576.00 | | Medio |
| Santa María del Monte | | 46,080.00 | 148,938.14 | 893.50 | Medio |
| Santa María Tomatlán | | 272.60 | 426,426.36 | 42,590.00 | Medio |
| Santa Martha | | 3,100.00 | | | Alto |
| Santa Martha Acatitla | 256,329.94 | 2,577,658.06 | | | Alto |
| Santa Martha Acatitla Sur | 776.49 | 393,206.24 | | | Alto |
| Santa Rosa | 28,242.47 | 1,773,115.63 | 5,715.40 | | Alto |
| Santiago Acahualtepec | 281,809.01 | 175,326.97 | | | Muy alto |
| Sector Popular | | 562,262.21 | | | Alto |
| Sideral | | 105,493.80 | | | Alto |
| Sierra del Valle | | 102,304.42 | 69,232.00 | | Alto |
| Sinatel | | 70,693.62 | 441,029.42 | | Medio |
| Solidaridad El Salado | | 320,732.75 | | | Alto |
| STUNAM | | | 7,150.00 | | Medio |
| Taxistas del DF | | | 20,090.00 | | Medio |
| Teatinos | | | 37,743.00 | | Medio |
| Tejocotes | | 12,296.78 | | | Alto |
| Tenorios | | 716,873.22 | 153,339.17 | | Alto |
| Tepalcates | 9,270.00 | 985,022.20 | | | Alto |
| Texcoco El Salado | | 56,294.55 | | | Alto |
| Tezozomoc | | | 16,244.00 | | Medio |
| Tlaltenco | | 32,872.06 | 3,060.89 | | Alto |
| Tlanezicalli | | 10,821.09 | | | Alto |
| Trabajadores de Pesca | | | | 20,613.00 | Bajo |
| Triángulo de las Agujas I | | 77,427.30 | | | Alto |
| Triángulo de las Agujas II | | 83,391.42 | 172.09 | | Alto |
| Tula | | | 110,938.64 | | Medio |
| U H Ejército Constitucionalista | 519,212.34 | 2,175,657.73 | | | Alto |
| U H Ejército de Oriente II | 21,303.14 | 406,351.98 | | | Alto |
| U H Margarita Maza de Juárez | | 85,267.10 | | | Alto |
| Unidad Dos Ejércitos de Agua Prieta | 8,160.00 | 15,700.00 | | | Alto |
| Unidad Modelo | | 273,009.27 | 280,219.39 | | Medio |
| Unión Cívica Iztapalapa (UCI) | 4,380.00 | | | | Muy alto |
| USCOVI | | 53,485.28 | | | Alto |
| Valle de Luces | | 79,287.00 | 423,917.64 | 121.20 | Medio |
| Valle de San Lorenzo | | 716,217.74 | | | Alto |
| Valle del Sur | | 113,185.62 | 291,031.23 | | Medio |
| Venecia | | 207.00 | 29,928.00 | | Medio |
| Veracruzana | | 19.30 | 57,928.96 | | Medio |
| Vergel de Santa Cruz | | 7,856.00 | 8,470.00 | | Medio |
| Vicente Guerrero | 5,789.42 | 627,344.66 | 1,060,176.70 | | Medio |
| Villas del Vergel | | | 9,830.00 | | Medio |

| Nombre | Muy alto Área (m²) | Alto Área (m²) | Medio Área (m²) | Bajo Área (m²) | Clasificación |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Villas Iztapalapa | | | 8,790.00 | | Medio |
| Violeta Arboledas | | 8,733.90 | | | Alto |
| Viva Sur | | | 11,400.00 | 1,090.00 | Medio |
| Xalpa | | 1,193,107.10 | 748,007.78 | | Alto |
| Xopa | | 1,000.00 | 15,353.00 | | Medio |
| Zacahuitzco | 1,727.80 | 262,945.72 | 26.18 | | Alto |
| Zacalli | | 11,472.00 | | | Alto |
| Zaragoza | | 4,020.00 | | | Alto |
| Zona Militar FAVE SEDENA | | 22,483.67 | 521,497.38 | | Medio |
| ZU Santa Martha Acatitla Norte | 37,020.00 | 1,911,511.22 | | | Alto |

Anexo 3. Material y diámetro de la tubería por colonia

| Nombre | φ | Material |
|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| 12 de diciembre | 12 in | Fibrocemento |
| 1a Ampliación Santiago Acahualtepec | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| 2a Ampliación Santiago Acahualtepec | 12 in | Fibrocemento |
| 8a de San Miguel | 6 in | Fibrocemento |
| Aculco | 12 in | Fibrocemento |
| Alcanfores | 12 in | Fibrocemento |
| Allepetlali | 6 in | Fibrocemento |
| Álvaro Obregón | 12 in | Fibrocemento |
| Ampliación Emiliano Zapata | 12 in | Fibrocemento |
| Año de Juárez | 20 in | Fibrocemento |
| Apatlaco | 6 in | Fibrocemento |
| Arboledas Zafiro | 6 in | Fibrocemento |
| Art 4to constitucional | 6 in | Fibrocemento |
| Bandijal | 6 in | Fibrocemento |
| Barrancas de Guadalupe | 20 in | Fibrocemento |
| Bellavista | 6 in | Fibrocemento |
| Benito Juárez | 6 in | Fibrocemento |
| Bertha Von Bloumer | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Bosques de Iztapalapa | 12 in | Fibrocemento |
| Buenavista | 12 in | Fibrocemento |
| Cabeza de Juárez IV | 6 in | Fibrocemento |
| Cabeza de Juárez V | 48 in | Fibrocemento |
| Cacama | 6 in | Fibrocemento |
| Campestre Potrero | 12 in | Fibrocemento |
| Cananea | 6 in | Fibrocemento |
| Carlos Hank González | 12 in | Fibrocemento |
| Carlos Pacheco | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Casa Blanca | 36 in | Fibrocemento |
| Cerro de la estrella | 12 in | Fibrocemento |
| Chinampac de Juárez | 12 in | Fibrocemento |
| Chinampas de Santa María Tomatlán | 48 in | Fibrocemento |
| Citlalli | 6 in | Fibrocemento |
| Colonial Iztapalapa | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Concordia Zaragoza | 12 in | Fibrocemento |

| Nombre | φ | Material |
|--------------------------------|-------|------------------------------|
| Consejo Agrarista Mexicano | 12 in | Fibrocemento |
| Constitución de 1917 | 12 in | Fibrocemento |
| Cuchillas del Moral | 12 in | Fibrocemento |
| Cuitlahuac | 6 in | Fibrocemento |
| Culhuacan | 12 in | Fibrocemento |
| De la selva | 12 in | Fibrocemento |
| Degollado | 12 in | Fibrocemento |
| Degollado chico | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Desarrollo urbano Quetzalcoatl | 6 in | Fibrocemento |
| Dr Alfonso Ortiz Tirado | 12 in | Fibrocemento |
| Ejército constitucionalista | 12 in | Fibrocemento |
| Ejército de agua prieta | 6 in | Fibrocemento |
| Ejército de oriente | 12 in | Fibrocemento |
| El edén | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| El manto | 12 in | Fibrocemento |
| El mirador | 6 in | Fibrocemento |
| El molino | 6 in | Fibrocemento |
| El prado | 6 in | Fibrocemento |
| El retoño | 6 in | Fibrocemento |
| El rodeo | 48 in | Fibrocemento |
| El rosario | 12 in | Fibrocemento |
| El santuario | 12 in | Fibrocemento |
| El sifón | 6 in | Fibrocemento |
| El triángulo | 12 in | Fibrocemento |
| El triunfo | 6 in | Fibrocemento |
| El vergel | 6 in | Fibrocemento |
| Emiliano Aguilar Garces | 6 in | Fibrocemento |
| Ermita | 6 in | Fibrocemento |
| Ermita Zaragoza | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Escuadrón 201 | 6 in | Fibrocemento |
| Estado de Anahuac | 6 in | Fibrocemento |
| Esteñar el retiro | 6 in | Fibrocemento |
| Estrella Culhuacan | 12 in | Fibrocemento |
| Estrella del sur | 12 in | Fibrocemento |
| F P F V (Predio El molino) | 6 in | Fibrocemento |
| Francisco Villa | 6 in | Polietileno de alta densidad |

| Nombre | φ | Material |
|------------------------------|-------|------------------------------|
| Fuego nuevo | 6 in | Fibrocemento |
| Fuentes de Zaragoza | 6 in | Fibrocemento |
| Fuerte de Loreto | 48 in | Fibrocemento |
| Granjas Esmeralda | 12 in | Fibrocemento |
| Granjas Estrella | 12 in | Fibrocemento |
| Granjas San Antonio | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Guadalupe | 6 in | Fibrocemento |
| Guadalupe del Moral | 6 in | Fibrocemento |
| Herminio Chavarria | 6 in | Fibrocemento |
| Héroes de Churubusco | 6 in | Fibrocemento |
| Huitzico | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Ignacio Zaragoza (Helechos) | 6 in | Fibrocemento |
| Insurgentes | 12 in | Fibrocemento |
| Ixtlahuacan | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Jacarandas | 12 in | Fibrocemento |
| Jardines de Churubusco | 6 in | Fibrocemento |
| Jardines de San Lorenzo | 20 in | Fibrocemento |
| José Lopez Portillo | 12 in | Fibrocemento |
| José María Morelos y Pavón | 6 in | Fibrocemento |
| Juan Escutia | 12 in | Fibrocemento |
| Justo Sierra | 6 in | Fibrocemento |
| La asunción | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| La colmena | 6 in | Fibrocemento |
| La era | 6 in | Fibrocemento |
| La esperanza | 48 in | Fibrocemento |
| La estación | 8 in | Fibrocemento |
| La joya | 6 in | Fibrocemento |
| La magueyera | 12 in | Fibrocemento |
| La nueva rosita | 6 in | Fibrocemento |
| La planta | 6 in | Fibrocemento |
| La poblanita | 6 in | Fibrocemento |
| La polvorilla | 12 in | Fibrocemento |
| La regadera | 12 in | Fibrocemento |
| La torre | 36 in | Fibrocemento |
| Las américas | 12 in | Fibrocemento |
| Las cruces | 6 in | Fibrocemento |
| Las peñas | 12 in | Fibrocemento |
| Las rosas | 48 in | Fibrocemento |
| Leyes de Reforma 1ra sección | 12 in | Polietileno de alta densidad |

| Nombre | φ | Material |
|--------------------------------|-------|------------------------------|
| Leyes de Reforma 2da sección | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Leyes de Reforma 3ra sección | 12 in | Fibrocemento |
| Lomas de la estancia | 12 in | Concreto reforzado |
| Lomas de San Lorenzo | 12 in | Fibrocemento |
| Lomas de Santa Cruz Meyehualco | 6 in | Fibrocemento |
| Lomas de Zaragoza | 12 in | Fibrocemento |
| Lomas del Pedregal | 12 in | Fibrocemento |
| Lomas Estrella 1a sección | 6 in | Fibrocemento |
| Lomas Estrella 2a sección | 12 in | Fibrocemento |
| Lomas Estrella III | 12 in | Fibrocemento |
| Los ángeles | 6 in | Fibrocemento |
| Los ángeles Apanoaya | 6 in | Fibrocemento |
| Los cipreses | 12 in | Fibrocemento |
| Los picos VI B | 12 in | Fibrocemento |
| Los reyes | 48 in | Fibrocemento |
| Luis Donaldo Colosio | 12 in | Fibrocemento |
| Magdalena Atlazolpa | 12 in | Fibrocemento |
| Mexicaltzingo | 12 in | Fibrocemento |
| Miguel de la Madrid Hurtado | 6 in | Fibrocemento |
| Miguel de la Madrid II | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Minerva | 12 in | Fibrocemento |
| Mirasoles | 20 in | Fibrocemento |
| Miravalle | 6 in | Fibrocemento |
| Mixcoatl | 6 in | Fibrocemento |
| Morelos I | 12 in | Fibrocemento |
| Morelos II | 12 in | Fibrocemento |
| Nueva generación | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Nueva Santa Cruz | 20 in | Fibrocemento |
| Ojito de agua | 6 in | Fibrocemento |
| Opalo | 48 in | Fibrocemento |
| Opus III | 12 in | Fibrocemento |
| Palmillas | 6 in | Fibrocemento |
| Palmitas | 20 in | Fibrocemento |
| Panteón de San Lorenzo | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Paraiso | 12 in | Fibrocemento |
| Paraje San Juan | 12 in | Polietileno de alta densidad |

| Nombre | φ | Material |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|
| Paraje San Juan 2a amp | 48 in | Concreto reforzado |
| Paraje San Juan Joya | 6 in | Concreto reforzado |
| Paraje Zacatepec | 12 in | Fibrocemento |
| Parajes Buenavista (TETECON) | 12 in | Fibrocemento |
| Parque Nacional Cerro de la Estrella | 48 in | Fibrocemento |
| Paseos de Churubusco | 12 in | Fibrocemento |
| Peñon viejo | 12 in | Fibrocemento |
| Plan de Iguala | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Plazas Estrella | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Polvorilla | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Popular Oriente | 12 in | Fibrocemento |
| Potrero de la Luna | 12 in | Concreto reforzado |
| Predio Bonampak | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| Predio Degollado | 8 in | Fibrocemento |
| Predio San Pedro y San Pablo | 12 in | Fibrocemento |
| Predio San Rafael | 12 in | Fibrocemento |
| Predio Xaltepec | 20 in | Fibrocemento |
| Presidente | 12 in | Fibrocemento |
| Presidentes de México | 12 in | Fibrocemento |
| Progresista | 12 in | Fibrocemento |
| Progreso del sur | 12 in | Fibrocemento |
| Puente blanco | 12 in | Fibrocemento |
| Purísima Atlazolpa | 12 in | Fibrocemento |
| Purísima I | 12 in | Fibrocemento |
| Real del Moral | 12 in | Fibrocemento |
| Real La Joya | 12 in | Concreto reforzado |
| Reforma educativa | 6 in | Fibrocemento |
| Reforma política | 12 in | Fibrocemento |
| Renovación | 48 in | Fibrocemento |
| Ricardo Flores Magón | 6 in | Fibrocemento |
| Sabadel Bellavista | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| San Andrés Tetepilco | 6 in | Fibrocemento |
| San Andrés Tomatlán | 12 in | Fibrocemento |
| San Antonio | 6 in | Fibrocemento |

| Nombre | φ | Material |
|-----------------------------|-------|------------------------------|
| San Antonio Culhuacan | 6 in | Fibrocemento |
| San Felipe Terremotes | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| San Francisco Apolocalco | 6 in | Fibrocemento |
| San Ignacio | 6 in | Fibrocemento |
| San José | 6 in | Fibrocemento |
| San José Aculco | 12 in | Fibrocemento |
| San José Buenavista | 12 in | Fibrocemento |
| San Juan Cerro | 12 in | Fibrocemento |
| San Juan Xalpa | 12 in | Fibrocemento |
| San Juanico Nextipac | 12 in | Fibrocemento |
| San Lorenzo Tezonco | 12 in | Fibrocemento |
| San Lorenzo Tezonco I | 6 in | Fibrocemento |
| San Lorenzo Tezonco II | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| San Lorenzo Xicotencatl | 12 in | Fibrocemento |
| San Lucas | 6 in | Fibrocemento |
| San Miguel | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| San Miguel Teotongo | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| San Nicolas Tolentino | 20 in | Fibrocemento |
| San Pablo | 12 in | Polietileno de alta densidad |
| San Pablo I y II | 12 in | Fibrocemento |
| San Pablo V | 12 in | Fibrocemento |
| San Pedro | 12 in | Fibrocemento |
| San Sebastian Tecoloxtitlan | 6 in | Fibrocemento |
| San Simón Culhuacan | 20 in | Polietileno de alta densidad |
| Santa Bárbara | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Santa Cruz Meyehualco | 12 in | Fibrocemento |
| Santa Isabel Industrial | 12 in | Fibrocemento |
| Santa María Aztahuacan | 6 in | Fibrocemento |
| Santa María Aztahuacan V | 20 in | Polietileno de alta densidad |
| Santa María del Monte | 6 in | Polietileno de alta densidad |
| Santa María Tomatlán | 6 in | Concreto reforzado |

| Nombre | ϕ | Material |
|---------------------------|--------|------------------------------|
| Santa Martha Acatitla | 12 in | Fibrocemento |
| Santa Martha Acatitla sur | 48 in | Polietileno de alta densidad |
| Santa Rosa | 12 in | Fibrocemento |
| Santiago Acahualtepec | 6 in | Fibrocemento |
| Sector Popular | 6 in | Fibrocemento |
| Sideral | 20 in | Fibrocemento |
| Sierra del Valle | 12 in | Fibrocemento |
| SINATEL | 6 in | Fibrocemento |
| Solidaridad El salado | 6 in | Fibrocemento |
| Taxistas del DF | 20 in | Policloruro de vinilo |
| Tejocotes | 36 in | Fibrocemento |
| Tenorios | 12 in | Fibrocemento |
| Tepalcates | 12 in | Fibrocemento |
| Texcoco El salado | 6 in | Fibrocemento |
| Tezozomoc | 12 in | Fibrocemento |
| Tlanezicalli | 12 in | Fibrocemento |
| Triángulo de las agujas I | 20 in | Fibrocemento |

| Nombre | ϕ | Material |
|--------------------------------|--------|------------------------------|
| Triángulo de las agujas II | 20 in | Fibrocemento |
| Tula | 6 in | Fibrocemento |
| UH Ejército Constitucionalista | 12 in | Fibrocemento |
| UH Ejército de Oriente II | 12 in | Fibrocemento |
| UH Margarita Maza de Juárez | 6 in | Fibrocemento |
| Unidad Modelo | 6 in | Fibrocemento |
| USCOVI | 6 in | Fibrocemento |
| Valle de luces | 6 in | Fibrocemento |
| Valle de San Lorenzo | 12 in | Fibrocemento |
| Valle del sur | 48 in | Fibrocemento |
| Vicente Guerrero | 6 in | Fibrocemento |
| Violeta Arboledas | 6 in | Fibrocemento |
| Xalpa | 6 in | Fibrocemento |
| Zacahuitzco | 6 in | Fibrocemento |
| Zona militar FAVE SEDENA | 20 in | Polietileno de alta densidad |
| ZU Santa Martha Acatitla Norte | 6 in | Fibrocemento |