**RESUMEN EJECUTIVO**

La Ciudad de México se abastece de agua de fuentes ubicadas fuera de la cuenca como Valle de Lerma y Sistema Cutzamala (38%); manantiales y ríos de la Ciudad de México (14%); y del acuífero del Valle de México (48%) (Monroy, 2017). El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) atiende la demanda de agua potable para 8.9 millones de habitantes y una población flotante de 4.2 millones.

El SACMEX tiene a su cargo 61 potabilizadoras, 60 de ellas repartidas en ocho de sus alcaldías y una en el municipio de Almoloya del Río, Estado de México. La alcaldía con más plantas potabilizadoras es la de Iztapalapa, con 30, el resto están repartidas en las demás demarcaciones. El origen del agua que abastece a dichas plantas es subterráneo en 59 de los casos y sólo 2 se abastecen de agua superficial, en específico, del Río Magdalena.

El gasto total de diseño es de 6,309 L/s, mientras que el gasto de operación es de 4,224 L/s. Del total de plantas operan 50, pero el agua tratada por estas, en su mayoría, no cumple con la Modificación del año 2000 a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*.

Con la finalidad de que el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) contribuya en la resolución de los problemas que no permiten un buen desempeño de las plantas potabilizadoras, el SACMEX firmó un convenio de colaboración con dicho instituto, que incluyó los siguientes objetivos:

* Pruebas de tratabilidad en planta piloto en un pozo
* Proyectos funcionales para la rehabilitación integral de 16 plantas potabilizadoras
* Apoyo técnico durante las licitaciones, así como la revisión de los proyectos, seguimiento de las obras y puesta en operación de plantas potabilizadoras.
* Identificación de horizontes saturados con agua de buena calidad en cinco pozos del SACMEX.

Las actividades específicas para cumplir con los objetivos del convenio fueron las siguientes:

1. Caracterización de la calidad del agua de 32 puntos de muestreo seleccionados en influentes y efluentes de dieciséis (16) plantas potabilizadoras de acuerdo a la modificación del año 2000 a la NOM-127-SSA1-1994.
2. Diagnóstico del diseño y funcionamiento de las plantas potabilizadoras.
3. Propuesta, con base en resultados de pruebas de tratabilidad, de un sistema de potabilización para un pozo con elevada contaminación.
4. Proyectos funcionales de modificación y/o rehabilitación de las plantas potabilizadoras.
5. Análisis técnico de la posibilidad de utilizar los resultados obtenidos de este estudio, en otros pozos del SACMEX con similares condiciones de calidad del agua.
6. Determinación del origen de la contaminación en cinco pozos del SACMEX.
7. Términos de referencia técnicos para la licitación de los proyectos ejecutivos de modificación o rehabilitación de las plantas potabilizadoras.
8. Acompañamiento técnico en la rehabilitación o reconstrucción de nueve (9) plantas potabilizadoras.
9. Revisión de proyectos a nivel de ingeniería básica de cuatro (4) plantas potabilizadoras.
10. Acompañamiento técnico durante la elaboración del Proyecto Integral de dos (2) plantas potabilizadoras.
11. Revisión de los proyectos funcionales y la ingeniería básica de dos (2) plantas potabilizadoras.

Los alcances y resultados de estas actividades se resumen a continuación:

**Caracterización del agua**

La caracterización de los influentes y efluentes de las potabilizadoras se llevó a cabo mediante el muestreo y análisis del agua, para la determinación de los parámetros que contempla la NOM-127, incluida radiactividad, pero exceptuando yodo residual libre, olor y sabor en todas las muestras. También se midieron los siguientes parámetros que, aunque no están considerados en la norma antes mencionada, son útiles para complementar los requerimientos de potabilización: potasio, magnesio, calcio, estroncio, boro, alcalinidad (total, a la fenolftaleína, carbonatos, bicarbonatos), fosfatos, carbón orgánico total, sílice, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura.

De los resultados obtenidos en las 16 plantas de estudio se concluye que los parámetros de calidad del agua influente, que no cumplen con los límites permisibles de la NOM 127 son, en orden de frecuencia: manganeso, hierro, sodio, nitrógeno amoniacal, color, dureza, cloruros y sulfatos. Además, se encontró materia orgánica y boro.

Únicamente en siete de las 16 plantas potabilizadoras pudo tomarse muestra del efluente, las otras estaban fuera de operación. De esas siete sólo tres cumplen con los límites permisibles de todos los parámetros de calidad del agua regulados por la NOM 127: Deportivo Ferrería, La Viga 4, y Ciudad Deportiva 2 (cuando opera sólo con el pozo Ciudad Deportiva 2). De estas plantas, en las dos últimas el agua de entrada (influente) cumple con todos los límites permisibles de los parámetros de calidad del agua de la NOM-127, o los rebasa apenas ligeramente.

**Diagnósticos de las potabilizadoras**

Para la elaboración de los diagnósticos se llevó a cabo la recopilación de información existente referente al sistema, la operación y los problemas más recurrentes; por lo que se entrevistó al personal de operación de cada planta, así como de la Subdirección de Potabilización y Desinfección del SACMEX.

Se realizó un recorrido por las instalaciones, para llevar a cabo un levantamiento general de la infraestructura, medir caudales de entrada, salida y retrolavados (cuando había condiciones para hacerlo), así como inspeccionar estado físico y de operación de las unidades de proceso.

Los resultados muestran que, de un total de 16 plantas potabilizadoras evaluadas, ninguna se encontraba operando adecuadamente, ya que todas presentaban algún problema de diseño, operación y/o mantenimiento.

Los problemas encontrados fueron los siguientes:

1. Poca coordinación entre operación de los pozos, plantas potabilizadoras y red de distribución. Esto ocasiona derrame de agua en tanques de distribución (en las plantas que lo incluyen), apagado frecuente de equipo de bombeo y/o, sobre presión de filtros con el consecuente deterioro de los mismos.
2. Falta de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos y unidades de proceso. Todas las potabilizadoras presentaron, en mayor o menor grado, equipo de bombeo descompuesto; pérdida o inexistencia del material filtrante; válvulas de control de flujo inoperantes; fugas de agua en cuerpos de filtros y/o tuberías; medidores de caudal y presión fuera de operación; tanques de agua tratada azolvados y/o con algas; entre otros.
3. Operación deficiente. No se da la importancia debida al retrolavado de filtros granulares lo que ha ocasionado en algunos casos la permanente colmatación de los lechos y la baja eficiencia en su funcionamiento. En las plantas que incluyen sistemas de membranas, es evidente que no se realizan los procedimientos periódicos y sistematizados de limpieza de las membranas lo que ha ocasionado el deterioro de estas.
4. Diseños inapropiados para la calidad del agua. En al menos tres de las potabilizadoras (La Caldera Nueva, Selene y Deportivo Los Galeana), los sistemas de tratamiento instalados no podrán cumplir con la NOM-127 de forma permanente con la calidad del influente existente. En La Caldera Nueva el sistema no está concebido para eliminar la elevada concentración de materia orgánica, ni para la oxidación de nitrógeno amoniacal que recibe. En la potabilizadora Selene funcionaron solo las membranas durante un año de iniciada su operación, hasta que se deterioraron por ensuciamiento. En el caso de Deportivo Los Galeana, el sistema instalado tiene tal grado de complejidad y diseño inoperante, que nunca cumplió con su cometido.
5. Diseños ineficientes. La mayoría de los sistemas de filtración existentes están diseñados en torres que incluyen de dos a cuatro filtros cada una, debido a que los filtros están a diferentes alturas el reparto del caudal no es el mismo entre todas las unidades con retrolavado mutuo. Este tipo de lavado no asegura las tasas adecuadas para la correcta limpieza de los medios filtrantes y, además, el medio filtrante en la mayoría de los casos no es el recomendado para remover los contaminantes de interés (ya sea por tipo o por granulometría). En varias plantas se incluyó ozonización, la cual no se justificaba en la mayoría de los casos, y nunca funcionó o lo hizo sólo algunos días.
6. En las potabilizadoras que tienen sistemas de membranas (La Libertad, Purísima Iztapalapa 3 y 7, Selene, Deportivo Los Galeana y Vista Alegre), no se incluyó el equipamiento mínimo para su limpieza y control, y/o no se aplica antiincrustante, y/o no tienen medidores en línea de los parámetros de control, y/o no se tiene desinfección UV para cuidar la integridad de las membranas. Todas las membranas analizadas se encontraron en muy mal estado y no pueden ser aprovechadas, a excepción de las que están instaladas en la planta Deportivo Los Galeana que son nuevas. La Planta La Libertad se encontró sin membranas, aún no estaban instaladas.
7. Construcción sin concluir. En dos de las potabilizadoras (La Libertad y La Caldera Nueva), están inconclusas las instalaciones de componentes básicos para el funcionamiento de las potabilizadoras. En La Libertad, el sistema de membranas está incompleto y en La Caldera Nueva no hay medio filtrante en los filtros a presión.
8. Ninguna potabilizadora incluye la recuperación del agua de retrolavado de los filtros granulares. Esto provoca una pérdida importante de agua, que puede reducirse al 1% si se instalan sedimentadores para el agua de retrolavado.
9. Ninguna potabilizadora tiene medición en sitio de los parámetros de control del proceso, lo que implica que los operadores no saben si el sistema realmente está funcionando, y no pueden realizar acciones encaminadas a una correcta potabilización.
10. Algunas potabilizadoras presentan serios problemas por la presencia de arena fina en el influente (La Caldera Nueva, Ciudad Deportiva 2), relacionados con deficiencias en la construcción de los pozos que las abastecen. Esto dificulta la operación de las potabilizadoras.
11. Todas las plantas tienen instalados sistemas de automatización y control que actualmente están fuera de operación.
12. No existen manuales de equipos, ni de unidades de tratamiento, y los operadores no han recibido capacitación adecuada para entender los procesos y la mejor forma de operarlos.

**Diseños Funcionales**

Se realizaron los diseños funcionales de rehabilitación o reingeniería de las potabilizadoras en estudio, los cuales incluyeron memorias de cálculo y planos para establecer dimensiones de unidades, tuberías y equipos, así como los perfiles hidráulicos y la distribución del sistema de potabilización en el terreno existente (que en la mayoría de las plantas abordadas fue una limitante).

Todos los diseños incluyeron la recuperación del agua de retrolavado de los filtros granulares, así como la optimización del sistema de bombeo para lograr un mejor manejo del caudal entre la entrada y la salida de las potabilizadoras. En la medida de lo posible se cambió el sistema de retrolavado mutuo, por lavado independiente, y en todos los casos se incluyó la rehabilitación del centro de control de motores, baños, oficinas y sistema de desinfección con hipoclorito de sodio del agua que se envía a la red.

**Pruebas de Tratabilidad**

En algunas plantas los criterios de diseño fueron obtenidos de pruebas de tratabilidad realizadas en laboratorio y/o directamente con planta piloto o semi piloto en sitio. Los principales retos encontrados fueron: la remoción de nitrógeno amoniacal, materia orgánica (COT) y la combinación de elevadas concentraciones de dureza y sílice.

De acuerdo con los resultados de las pruebas, la máxima remoción esperada de nitrógeno amoniacal es de aproximadamente 4 mg/L utilizando biolita® en reactores de lecho fijo (biofiltros), con aireación en continuo dentro del medio, y tiempos de residencia de aproximadamente 22 minutos. Si se utilizan biofiltros con aireación previa del influente por ejemplo con torres de charolas múltiple, empacados indistintamente con carbón activado, zeolita o biolita®, la máxima remoción será de 2 mg/L. Por otro lado, se recomienda el empleo de ósmosis inversa para tratar agua con hasta 5 mg/L de nitrógeno amoniacal, concentraciones superiores imposibilitan el cumplimiento en el agua tratada del valor límite de 0.5 mg/L que establece la NOM-127. La combinación de los sistemas de tratamiento biológico y de ósmosis inversa permitiría alcanzar remociones hasta de 9 mg/L de nitrógeno amoniacal.

El contaminante más difícil de remover fue la materia orgánica, debido a la baja biodegradabilidad de los compuestos orgánicos que contiene el agua que abastece a varias potabilizadoras del SACMEX; se midieron relaciones de DBO5/DQO que variaron entre 0.1 y 0.3. Los resultados en planta semi piloto con agua de las potabilizadora La Caldera Nueva y Santa Catarina, después de más de dos meses de operación, mostraron remociones despreciables de COT con procesos biológicos (reactores de lecho fijo, de lecho móvil y biofiltros); la saturación muy rápida (en 48 h) de carbón activado; o el requerimiento de tiempos de ozonización prolongados (> 15 min). La presencia de materia orgánica también dificulta la remoción de hierro y manganeso, debido a la formación de complejos solubles.

Por otro lado, la elevada dureza en el agua de algunos pozos, combinada con elevada sílice, obliga al uso de una etapa previa de ablandamiento (con resinas o mediante precipitación con cal/carbonato de sodio) para los sistemas de ósmosis inversa, que eleva considerablemente los costos de operación y dificulta el proceso.

**Posibilidad de aplicar este estudio en otras plantas potabilizadoras**

Los datos históricos de calidad del agua de todas las plantas que opera el SACMEX, permitieron establecer sistemas de tratamiento tipo (Tabla 1), con base en la concentración de los contaminantes predominantes encontrados en las fuentes de abastecimiento y los resultados de las pruebas de tratabilidad de este estudio. Las propuestas de rehabilitación y/o reingeniería de las potabilizadoras motivo de este estudio (marcadas en letras rojas en la Tabla 1), se establecieron en concordancia con esta clasificación.

Con las 45 plantas potabilizadoras restantes que no fueron diagnosticadas como parte de los trabajos de este convenio, los registros históricos de calidad de agua permitieron establecer la factibilidad de aplicar alguno de los sistemas de tratamiento propuestos, y el costo de operación aproximado con base en estos.

El costo de operación se calculó para las plantas potabilizadoras diseñadas, considerando: mano de obra (tabulador promedio del SACMEX); reactivos (oxidante, polímero); energía (operación de la planta); en los casos en los que se incluye ósmosis inversa se adiciona el costo por reposición de membranas (3 años de vida útil), de los cartuchos pulidores (cambio cada dos semanas), antiincrustante y reactivos para su limpieza.

Con fines de generalizar los costos en el resto de las plantas, y dado que no se tiene información de estas referente a energía de extracción, monto de inversión (el mantenimiento se calcula como un 5% de éste), ni presión a la descarga a la red (requerido para el costo de energía por distribución), el costo mostrado en la Tabla 1 sólo es por operación de la planta. Los costos son solamente aproximados para las potabilizadoras que no se diseñaron en este estudio, considerando un intervalo entre el menor y mayor, por tipo de proceso, de las que sí se calcularon.

| **Tabla 1 Clasificación de las plantas potabilizadoras por tipo de proceso, en función de los contaminantes que no cumplen los valores límite permitidos por la NOM-127 en el influente, y de su concentración** | | | |
| --- | --- | --- | --- |
| **CONTAMINANTE Y CONCENTRACIÓN ADMITIDA (mg/L)** | **PLANTAS POTABILIZADORAS** | **COSTOS DE OPERACIÓN**  **(sin mantenimiento, extracción ni distribución)**  **($/m3)** | **OBSERVACIONES** |
| **TIPO 1: CLORACIÓN (O COAGULACIÓN) + UNA ETAPA DE FILTRACIÓN FISICOQUÍMICA** | | | |
| Fe ≤ 3, Mn ≤ 3.5, COT≤ 5  (o Turbiedad) | S-13 | 0.48 - 1.57 | Cumplen con la NOM-127 desde el influente, la potabilizadora sirve como protección. |
| San Luis Nuevo | 0.48 - 1.57 |
| Viga 4 | 0.67 |
| Viga 2 | 0.48 - 1.57 | Cumplirían con la NOM-127 en el agua potabilizada. |
| Deportivo Ferrería | 0.77 |
| Almoloya del Río | 0.48 |
| Santa Catarina 11 | 0.48 - 1.57 |
| Trabajadores del Hierro | 0.72 |
| Xaltepec | 0.48 - 1.57 |
| Panamericana | 0.90 |
| Granjas San Antonio | 0.94 |
| Río Magdalena | 0.48 - 1.57 | Cumplen con la NOM-127 desde el influente, la potabilizadora sirve como protección. |
| Río Magdalena 2 | 0.48 - 1.57 |
| Cerro de la Estrella 2 | 1.57 | Debería diseñarse como Tipo 5 pero no hay espacio para poner membranas, no va a cumplir con la NOM-127 para SDT ni dureza. |
| **TIPO 2: AIREACIÓN + UNA ETAPA DE FILTRACIÓN (FISICOQUÍMICA O BIOLÓGICA)** | | | |
| N-NH4+ ≤ 2, COT\* ≤ 5  o  Fe ≤ 5, Mn ≤ 3.5 | Cerrillos 3 | 0.85 – 0.90 | Proceso biológico para cumplir con la NOM-127 en el agua potabilizada. |
| Auxiliar de Xotepingo 4-C |
| Cerrillos 2 |
| Escudo Nacional 2 |
| Ejército de Agua Prieta |
| Carlos L. Gracidas |
| R-11 |
| Purísima 2 |
| Purísima Iztapalapa 3 y 7 | 0.85 |
| Ciudad Deportiva 2 | 0.86 | Proceso biológico para cumplir con la NOM-127 en el agua potabilizada.  Se sugiere rehabilitar el pozo Santa Úrsula Xitla porque genera mucha arena y aporta N-NH4+ |
| Popotla | **0.90** | Se diseñó como Tipo 2 en una primera etapa, datos preliminares indican que los SDT están ligeramente arriba de la NOM-127. El pozo ha operado muy poco tiempo, requiere más tiempo de trabajo para obtener una caracterización confiable de la calidad del agua que se extrae. Contiene boro que no se elimina con el tratamiento. |
| **TIPO 3: AIREACIÓN + FILTRACIÓN (FISICOQUÍMICA O BIOLÓGICA) + FILTRACIÓN FISICOQUÍMICA** | | | |
| N-NH4+ ≤ 2, COT\* ≤ 5  Fe ≤ 10, Mn ≤ 3.5 | Balbuena 2 | 1.0 – 1.6 | Proceso biológico + fisicoquímico para cumplir con la NOM-127 en el agua potabilizada |
| Panteón Civil | 1.05 |
| Jardines del Pedregal 4 y 5 | 1.59 | Doble filtración fisicoquímica y los dos pozos deben operar simultáneamente para cumplir con la NOM-127. Se recomienda que del pozo 5 se saque el agua a 150 m para mejorar la calidad del agua extraída. |
| **TIPO 4: AIREACIÓN + FILTRACIÓN (BIOLÓGICA) + AIREACIÓN U OZONO/AIREACIÓN + FILTRACIÓN (BIOLÓGICA)** | | | |
| N-NH4+ ≤ 4, COT\* ≤ 5 | Tecómilt 2 | No se tiene valor aproximado | Requiere las dos etapas de filtración biológica para cumplir con la NOM-127. El COT presente no formará trihalometanos por arriba del valor normado. |
| **TIPO 5: CLORACIÓN + UNA ETAPA DE FILTRACIÓN (FISICOQUÍMICA) + ÓSMOSIS INVERSA** | | | |
| N-NH4+ ≤ 5, COT ≤ 5  Fe ≤ 3, Mn ≤ 3.5  CaCO3 ≤ 1200 o Si ≤ 90, SDT | Tlacotal | ~8.0 | Contienen boro que no se va a eliminar con el tratamiento. Tlacotal tiene SDT ligeramente sobre la NOM-127, se podría obviar la OI. |
| Iztapalapa 2 |
| Iztapalapa 1 | 8.12 |
| Agrícola Oriental | ~8.0 |
| San Lorenzo Tezonco | Cumpliría con la NOM-127 en el agua potabilizada. |
| **TIPO 6: AIREACIÓN + UNA ETAPA DE FILTRACIÓN (BIOLÓGICA O FISICOQUÍMICA) + ÓSMOSIS INVERSA** | | | |
| N-NH4+ ≤ 7, COT\* ≤ 5  Fe ≤ 5, Mn ≤ 3.5  CaCO3 ≤ 1200 o Si ≤ 90 SDT | Río Hondo - Agrícola Pantitlán | 6.9 – 9.50 | Proceso fisicoquímico + OI para cumplir con la NOM-127 en el agua potabilizada |
| Santa María Aztahuacán |
| Deportivo Los Galeana | 9.51 | Por calidad debería ser Tipo 9, pero se diseñó sin intercambio iónico porque está en el límite. Se sugiere reubicar los pozos fuera de la zona de agua de flujos profundos, porque el costo de operación es muy elevado. |
| Santa Cruz Meyehualco | 6.9 – 9.50 | Requieren membranas resistentes a la materia orgánica. |
| El Sifón | 8.69 |
| **TIPO 7: AIREACIÓN + FILTRACIÓN (BIOLÓGICA O FISICOQUÍMICA) + FILTRACIÓN (FISICOQUÍMICA) + ÓSMOSIS INVERSA** | | | |
| N-NH4+ ≤ 7, COT ≤ 5  Fe ≤ 10, Mn ≤ 3.5  CaCO3 ≤ 1200 o Si ≤ 90 SDT | La Libertad | 5.66 | Por calidad deberían ser Tipo 9, pero en pruebas en sitio se logró remover dureza con la aireación-filtración, antes de la OI. Contienen boro que no se va a eliminar con el tratamiento, pero se cumplirá con la NOM-127 en el agua potabilizada. |
| Vista Alegre | 9.36 |
| **TIPO 8: AIREACIÓN + FILTRACIÓN (BIOLÓGICA) + AIREACIÓN U OZONO/AIREACIÓN + FILTRACIÓN (BIOLÓGICA) + ÓSMOSIS INVERSA** | | | |
| N-NH4+ ≤ 9, COT\* ≤ 5  Fe ≤ 10, Mn ≤ 3.5  CaCO3 ≤ 1200 o Si ≤ 90 SDT | Ninguna | - | Ninguna planta cae en este rubro |
| **TIPO 9: PRETRATAMIENTO CON CUALQUIERA DE LOS TIPOS ANTERIORES + ABLANDAMIENTO + ÓSMOSIS INVERSA** | | | |
| (Fe, Mn, N-NH4+ dependiendo del pretratamiento)  CaCO3 > 1200 o Si > 90  SDT | Tacubaya 1 | ~34.00 | Pretratamiento Tipo 1. Se sugiere reubicar los pozos fuera de la zona de agua de flujos profundos, porque el costo de operación es muy elevado. Contienen concentraciones altas de boro que no se van a poder disminuir. |
| La Pastora |
| Av. del Castillo |
| Los Atorones 2 y 6 | Pretratamiento Tipo 3. se sugiere, reubicar los pozos fuera de la zona de agua de flujos profundos, porque el costo de operación es muy elevado. Contienen valores elevados de boro. |
| **TIPO 10: BIORREACTOR DE LECHO FIJO + AIREACIÓN U OZONO/AIREACIÓN + FILTRACIÓN (BIOLÓGICA O FISICOQUÍMICA)** | | | |
| N-NH4+ ≤ 6  COT\*≤ 5 | Acueducto Sierra Santa Catarina | ~1.50 | Se requiere medir COT y su biodegradabilidad, porque las DQO reportadas son muy altas (>22 mg/l). Se sugiere cambio de fuente porque es muy probable que no se remueva materia orgánica. |
| Santa Catarina 8 y 9 |
| La Caldera Nueva | **0.67** | Se diseñó Tipo 10 pero no va a cumplir la NOM-127 si no mejora la calidad del influente. Se propone sacar de operación o cambiar la extracción de los pozos 14, 15 y 16 del Ramal Tláhuac, así como los pozos 3, 5 y 7 del Ramal Mixquic. |
| **TIPO 11: BIORREACTOR DE LECHO FIJO + AIREACIÓN U OZONO/AIREACIÓN + FILTRACIÓN (BIOLÓGICA O FISICOQUÍMICA) + ÓSMOSIS INVERSA** | | | |
| N-NH4+ ≤ 11, COT\* ≤ 5  CaCO3 ≤ 1200 o Si ≤ 90  SDT | Santa Catarina 13 | No se tiene valor aproximado | Medir COT y su biodegradabilidad, porque las DQO son muy altas (>29.6 mg/l). Se sugiere cambio de fuente porque es muy probable que no se remueva materia orgánica. Se pueden utilizar membranas resistentes a la materia orgánica, pero no se tienen datos de cuánta concentración soportan para una vida útil económicamente viable. |
| Purísima Democrática |
| Iztapalapa 8 |
| Santa Catarina 12 |
| San Lorenzo Tezonco Nuevo |
| Santa Catarina 10 |
| **TIPO 12: NO SE PUEDE LLEGAR A LA NOM-127** | | | |
| N-NH4+ > 12  y/o  COT >15 | Santa Catarina | - | Para todas las plantas con valores muy elevados de nitrógeno amoniacal y/o materia orgánica, algunas también con boro, se sugiere cambio de fuentes.  En el pozo Santa Catarina 5, de la potabilizadora **Selene**, se propone evitar extraer el agua contaminada de los estratos someros. En esta planta solo se hicieron adecuaciones para aumentar la eficiencia, pero no va a cumplir la NOM-127 si no mejora la calidad del influente. |
| Tecómitl 18 |
| Purísima Iztapalapa 4 |
| Purísima Iztapalapa 5 |
| Acueducto-Tláhuac - La Caldera |
| Purísima Iztapalapa 1 |
| Santa Catarina 4 |
| Selene |

Nota: COT\* indica que puede ser más elevado el valor si la materia orgánica es biodegradable, además, sólo se removerá a partir de que se agote el nitrógeno amoniacal. En rojo las potabilizadoras comprendidas en este estudio.

De la Tabla 1 se observa que, de las 61 plantas potabilizadoras existentes, más la nueva (Popotla):

1. 28 requieren sistemas relativamente sencillos, que van desde una sola etapa de filtración fisicoquímica en zeolita natural, hasta dos etapas de filtración biológica coadyuvada con aireación.
2. 13 necesitan además sistemas con membranas de ósmosis inversa.
3. Cinco requieren ablandamiento antes de la ósmosis inversa, ya sea químico o mediante resinas de intercambio iónico.
4. Tres utilizarían biorreactores con biolita® y aireación a contracorriente, además de una o dos etapas de filtración biológica en carbón activado o zeolita, con ozonización y aireación intermedia, aun así, no se removería eficientemente al COT.
5. Seis, además de lo mencionado en el punto anterior, van a necesitar membranas de ósmosis inversa.
6. Ocho potabilizadoras requieren un cambio total de fuente de abastecimiento, porque ningún sistema de potabilización sería técnica o económicamente viable, y menos aún con las áreas de terreno típicas existentes.

Los costos de operación estimados (sin considerar la extracción del agua del pozo, la inyección a red, ni los costos de mantenimiento) son los siguientes:

1. Sistemas que incluyan solo filtración granular, ya sea física o biológica, con o sin aireación con charolas o en tanque de contacto, tendrán un costo aproximado de operación de la planta que variará entre $0.48 y $1.57 por metro cúbico de agua producida.
2. Sistemas que incluyan además ósmosis inversa en su tren de potabilización, podrán llegar hasta los $9.51/m3 de agua producida.
3. Si se tiene que añadir ablandamiento al sistema de membranas, los costos de operación llegarán a los $34/m3.
4. Es más costosa la operación por m3 de plantas potabilizadoras pequeñas, que el de las grandes, debido a que los costos de personal se prorratean.

**Términos de Referencia y seguimiento técnico**

Para la contratación de los proyectos ejecutivos y la rehabilitación de cada una de las plantas potabilizadoras, se elaboraron los términos de referencia de las bases de concurso del SACMEX, con los cuales se licitaron ocho plantas en la modalidad de Precio Alzado. Cinco fueron adjudicadas a la empresa FYPASA (Viga 4, Granjas San Antonio, Jardines del Pedregal, Ciudad Deportiva 2 y La Libertad), y tres a la empresa PROVIME (Trabajadores del Hierro, Panamericana y Deportivo Ferrería). El IMTA dio acompañamiento técnico al SACMEX para la revisión de los proyectos a detalle y verificación del cumplimiento de los mismos durante la construcción de las obras respectivas. En este periodo surgieron modificaciones que el IMTA analizó y validó.

**Determinación del origen de la contaminación**

Con el fin de determinar el origen de la contaminación del agua de los pozos, y proponer una solución que facilite el problema de potabilización, se llevaron a cabo mediciones de parámetros fisicoquímicos e isotópicos (en campo y laboratorio), así como sondeos geofísicos, en cinco de los pozos del SACMEX. Los parámetros medidos en campo fueron: temperatura del agua, temperatura ambiente, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y potencial redox. En laboratorio se determinó el contenido de cationes por medio de inducción de plasma acoplado a espectroscopía óptica, y el contenido de aniones por medio de cromatografía de líquidos. Así mismo se analizó la información existente que incluyó: diseño constructivo de los pozos, registro eléctrico, estratigrafía, aforos, calidad del agua, entre otros.

Los resultados muestran lo siguiente:

1. Los pozos Santa Catarina 5 y Tulyehualco 6 están extrayendo agua de poro con alto contenido de sales y nitrógeno amoniacal, del acuitardo que sobreyace el acuífero donde se ubican dichos pozos. El ademe liso de los pozos emplazados en la zona del vaso de Chalco (como es el caso de estos dos) debe ser lo suficientemente largo para evitar extraer el agua contaminada de los estratos someros. Para el caso concreto del pozo Santa Catarina 5, el ademe liso debe tener una longitud de al menos 250 m. Así mismo, el filtro de grava del pozo no debe estar en contacto directo con el acuitardo, para evitar que el filtro sea un conducto por donde ingrese agua contaminada del acuitardo al pozo.
2. En el pozo Popotla existe una estratificación vertical de la calidad del agua, debido a que el pozo capta dos sistemas de flujo subterráneo que circulan a diferente profundidad. El agua subterránea somera es de buena calidad (hasta 250 m), mientras que la profunda es de mala calidad (250 m–400 m). Se recomienda sellar la porción profunda del pozo (250 m-400 m). Con respecto al estrato profundo, por su alto contenido de litio y bajo contenido de estroncio, se considera que es un sistema de flujo regional que solamente circula por las rocas volcánicas. Los valores isotópicos de las muestras de agua del pozo también indican un sistema de flujo regional.
3. En el pozo Jardines del Pedregal 5R también existe una estratificación vertical de la calidad del agua, con el pozo captando dos sistemas de flujo subterráneo que circulan a diferente profundidad. El agua subterránea somera es de buena calidad (hasta 250 m), mientras que la profunda es de mala calidad (250 m–350 m). Se recomienda colocar la bomba a una profundidad de 150 m para maximizar la extracción de los estratos someros y minimizar la extracción de los estratos profundos. Con respecto al estrato profundo, por su contenido de litio y alto estroncio, se considera que es una mezcla de agua de un flujo somero con un flujo regional que circula por las calizas del basamento.

El estrato profundo presenta sobresaturación con respecto a la dolomita, confirmando agua que circuló por las calizas.

1. El pozo Atorón 6 presenta altas concentraciones de solutos a lo largo de todo el perfil vertical. Por su contenido de litio y alto estroncio, se considera que es una mezcla de agua de un flujo somero con un flujo regional que circula por las calizas del basamento. Todas las muestras de agua de este pozo presentan sobresaturación con respecto a la dolomita, confirmando agua que circuló por las calizas. Los pozos que se construyan en el Bosque de San Juan de Aragón, donde se ubica el Atorón 6, presentarán altos contenidos de sólidos disueltos debido a que en esta zona emerge agua de flujos profundos que circula por las calizas del cretácico.

El modelo conceptual del acuífero de la Cuenca del Valle de México considera las siguientes unidades hidrogeológicas: 1.-Acuitardo superior (arcilla lacustre), 2.- Acuífero superior (aluviones, basaltos, tobas y depósitos de la Formación Tarango), 3.- Acuitardo medio, 4.- Acuífero medio (rocas ígneas), 5.- Acuitardo inferior y 6.- Acuífero inferior (carbonatos del cretácico). La contaminación de los pozos Santa Catarina 5 y Tulyehualco 6 procede del acuitardo superior (arcilla lacustre), la contaminación del pozo Popotla del acuífero medio (rocas ígneas), la contaminación del estrato profundo del pozo Jardines del Pedregal 5 del acuífero inferior (carbonatos del cretácico), y la contaminación del pozo Atorón 6 del acuífero inferior (carbonatos del cretácico).

**Recomendaciones Generales**

Como conclusión general del estudio, el IMTA sugiere establecer un programa continuo de atención y corrección a las deficiencias que presentan las plantas potabilizadoras, que incluya lo siguiente:

1. Realizar mediciones de parámetros fisicoquímicos e isotópicos, así como sondeos geofísicos, en todos los pozos que presentan elevada contaminación de sales, nitrógeno amoniacal y materia orgánica.
2. Hacer las modificaciones pertinentes en los diseños y construcción de los pozos, con base en los estudios del punto anterior, antes de seleccionar el tipo de sistema de potabilización requerido y llevar a cabo las acciones de rehabilitación o reingeniería.
3. Utilizar procesos de potabilización de bajo costo de operación e inversión y llevar a cabo pruebas en sitio con planta piloto, antes de tomar la decisión final.
4. Establecer un programa de capacitación que certifique al personal encargado de la operación de las plantas.
5. Asignar recursos, de forma permanente, para el mantenimiento preventivo y correctivo de las potabilizadoras.