



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EXPERIMENTACIÓN PILOTO DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL
AGUA DE RECARGA DE LA PLANTA CERRO DE LA ESTRELLA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO PRESENTA:

MÓNICA BOLLAS YEPEZ

ASESOR:

MARTHA ORTIZ ROJAS



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

DEDICADO.....

A mi mamá:

Lorenza Yopez Villar. Que ha dado todo sin dudarlo, su apoyo, su tiempo, su protección, su confianza pero sobre todo su amor, indudablemente mi amiga de toda la vida, quien con sus sabios consejos me ha sabido consolar en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis hermanos:

Antonio, Alfredo, Omar, Claudía, y Yaredy. Que han sido una guía en mi vida, que gracias a su esfuerzo, trabajo, apoyo y dedicación han logrado mostrarme que los obstáculos en la vida jamás serán más grandes que la convicción de luchar por lo que se anhela

No tengo palabras para decirles cuanto los amo y seguramente nunca las tendré, por todo lo que me han dado y aun me dan solo les puedo decir Gracias.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Agradecimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y su Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por la educación invaluable que me ha brindado, además de apoyo mis estudios profesionales.

Agradezco las oportunas observaciones y comentarios de Quim Martha Ortiz Rojas, M. en .I.Crescenciano Echavarrieta., M. en C. Cecilia Sugina Matsubara Oda, I.Q. Marina Caballero Díaz., Q.F.B. Miriam Muñoz Rivera.

A todos mis amigos por los momentos donde reímos, discutimos pero sobre todo por haber aprendido junto a ellos el valor de la amistad, pues la amistad sólo puede tener lugar a través del desarrollo del respeto mutuo y dentro de un espíritu de sinceridad.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

RESUMEN	I
OBJETIVOS	II
INTRODUCCIÓN	III
 CAPITULO I RECARGAS DE LOS ACUIFEROS	
1.1 Información D.F.	8
1.1.2 Características de recarga Artificial en diferentes Países	15
1.1.3 Recarga Internacional	14
1.1.4 recarga del manto acuífero de la Ciudad de México	17
• Cuenca de la zona Metropolitana del valle de México (ZMVM)	19
• Causas de la sobreexplotación de los acuíferos	22
1.1.5 Consecuencias de la sobreexplotación del acuífero	24
• Aumento de costos de Agua	24
• Hundimiento de la zona metropolitana	24

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

1.1.6 Recarga del Acuífero de la zona metropolitana de la ciudad de México	25
1.1.7 Problemas de desabasto de agua potable	27
1.1.8 Cantidad y calidad de agua potable	29
1.1.9 Zonas de posibles recarga Cerro de la estrella	30
• Cerro de la Estrella	34
1.1.10 Situación de saneamiento	36
• Sistema de drenaje	37
• Plantas de tratamiento de agua residual	38
1.1.11 Análisis de la situación en el reúso de agua residual	40

CAPITULO II TREN DE PROCESO

2 Descripción del tren de proceso para la calidad del Agua	44
2.1 Filtración a presión	45
2.1.1 Oxidación con Ozono	45

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

2.1.2 Filtración	45
2.1.3 Filtros Cartucho	45
2.1.4 Osmosis Inversa	45
2.1.5 Desinfección Ultravioleta	45
2.2 Planta Piloto	46
2.2.1 Equipo de Proceso	46
• Mezclador estático	46
• Hidrociclón	47
• Prefiltración	49
• Ozonación	50
• Post-filtración	52
• Filtros para cartucho	52

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

• Osmosis inversa	53
• Desinfección Ultravioleta	54
2.3 Descripción Operativa	57
2.3.1 Proceso de tratamiento del agua de la planta piloto	58
 CAPITULO III Análisis de resultados de la calidad del agua del tren de proceso	
3.1 Calidad del agua del proceso	76
Glosario	90
Conclusiones	92
Bibliografía	93
Anexo de Resultados Análisis del Agua	I

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

RESUMEN

Se realizo el trabajo para contar con una Planta de Tratamiento Piloto a nivel avanzado para un caudal inicial de 20lps, la cual se puede escalar a un volumen mayor (40lps) para iniciar la experimentación piloto de recarga artificial al acuífero a partir de agua residual tratada y posteriormente potabilizada (planta experimental piloto) al contar con la autorización de recarga, implementar y desarrollar el proyecto de recarga artificial al acuífero a gran escala.

El efluente de la PTAR Cerro de la Estrella propiedad del SACM, proporcionara la materia (agua residual tratada) para el influente de la Planta potabilizadora piloto ubicada en el mismo predio de la PTAR Cerro de la Estrella, planta piloto que se espera produzca agua que cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1 (Modificada), agua que será utilizada para la Recarga Artificial al Acuífero de forma directa.

Para llevar a cabo la recarga se encuentra regulado por la Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003 (Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada).

Los requisitos para la recarga enmarcados por la NOM-014-CONAGUA-2003, indica que se debe de contar con estudios básicos incluyendo la hidrología de la zona del proyecto, específicamente las características del acuífero, las características físico-químicas y microbiológicas del agua subterránea nativa, las características de las captaciones de agua subterránea existentes , la ubicación y tipo de fuentes de contaminación, por tal razón el SACM ,programo la realización de los estudios complementarios mencionados para la obtención de la autorización para realizar la recarga artificial al acuífero.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

OBJETIVOS

- 1.- Identificar las fuentes de suministro de agua potable, localizadas a una distancia menor de 1.0km del límite exterior del ZRA (ZONA DE RECARGA ARTIFICIAL), captaciones que suministran agua para uso público-urbano o doméstico, a los que se deberá establecer un programa de vigilancia de la calidad del agua y dar cumplimiento a este punto.
- 2.- Realizar la operación del tren de proceso para determinar la calidad del agua resultante para que así el agua purificada cumpla con los requisitos de la norma que pide CONAGUA para la recarga, y así las variaciones de la tasa de infiltración en el tiempo requerido sean menores.
- 3.- Cumplir con los límites máximos permisibles en la calidad del agua de recarga que es del agua residual tratada
- 4.-Comprobar que el agua de la planta si cumpla con los límites permisibles de la norma de la norma

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

INTRODUCCION

El acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta graves problemas de sobreexplotación, lo que ha ocasionado hundimiento del terreno natural, cambio en los sistemas de drenaje, afectaciones a la infraestructura hidráulica, deterioro de la calidad del agua y abatimiento progresivo de niveles estáticos,. Con la finalidad de mitigar parte de los efectos negativos se implementa un proyecto piloto de recarga artificial al acuífero, utilizando agua residual tratada.

Este proyecto dará como primicia una rehabilitación integral de las instalaciones donde se pretende construir la planta piloto. Se definirán los proceso con tecnologías avanzadas para potabilizar el agua, se señalaran las infraestructuras de las cuales se podrá reutilizar, en la parte eléctrica, mecánica y de proceso.

La recarga artificial consiste en el proceso de introducir agua, de manera intencionada, en un acuífero (formación subterránea capaz de almacenar y transmitir agua) para utilizarla después con un objetivo de calidad concreto. De esta manera es indispensable tomar en cuenta dos aspectos para poder calificar una actuación determinada como experiencia o ensayo. Por un lado, es necesario que la recarga se haga de forma planificada, intencionada, y no como consecuencia de otra obra o ensayo. Un buen ejemplo es el bombeo de un pozo cercano a un río influente, ya que la recarga a través del lecho de éste se verá aumentada al producirse un aumento de gradiente hidráulico entre ambos. Por otro lado, el hecho de almacenar agua en un acuífero es únicamente una visión reduccionista, meramente hidráulica. Es imprescindible que la recarga se haga de acuerdo con las directrices previstas en cuanto a la calidad del agua que se podrá recuperar posteriormente. Salvo en algún caso particular, está claro que el objetivo primordial de la recarga artificial es aumentar la cantidad de recursos disponibles, mediante su almacenamiento en el acuífero o bien porque se logra una mejora de calidad que lleva implícita un mejor aprovechamiento de dichos recursos.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Hay varias técnicas para la recarga aquí se citan algunas:

1. **Recarga Superficial**, que se efectúa por medio de balsas o drenes acondicionados en superficie. Es la más económica y sencilla, pero requiere notables extensiones de territorio y la existencia de acuíferos someros. Los requisitos imponibles a la calidad del agua de recarga son relativamente laxos.

2. **Recarga Profunda**, mediante pozos. Los pozos pueden ser de tres tipos:

- 1.- Convencionales o de bombeo;
- 2.- De doble propósito o ASR (acrónimo del inglés Aquifer Storage and Recovery) [PYNE, 1995], con pozos que pueden bombear o recargar en función de las necesidades; y
- 3.- Pozos secos, esto es, perforados únicamente en la zona no saturada.

Cualquiera de los tres tipos resulta una opción más costosa y requiere de estudios detallados previos, si bien son muy prácticos en zonas sometidas a presión urbanística y –salvo los pozos secos cuando el nivel piezométrico es profundo o existen intercalaciones de materiales poco permeables.

3. **Recarga Inducida**. Aunque más difícil de controlar, ocurre cuando, de manera intencionada, se bombea en un pozo con el fin de aumentar la recarga a través del lecho de ríos o reservorios superficiales. No es muy practicada, aunque puede ser muy útil cuando interesa tener una secuencia de ambientes oxidantes a reductores para aplicar un tratamiento adicional al agua de recarga.

Por ello, se puede identificar un gran número de objetivos y aplicaciones de la recarga artificial de agua:

- Aumentar el volumen de agua subterránea aprovechable en el futuro, reduciendo los costos de obra y explotación.
- Mitigar problemas de explotación insostenible de acuíferos.
- Controlar las crecidas mediante el aprovechamiento del agua de escorrentía.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

- Mejorar la calidad del agua superficial para su posterior aprovechamiento, es decir, servirse de la capacidad depuradora de los acuíferos.
- Disminuir los fenómenos de escasez por sobreexplotación de acuíferos.
- Limitar el uso de compuestos químicos durante el tratamiento convencional de aguas.

Respecto a la Recarga Artificial del Acuífero en la Ciudad de México y en especial en el Distrito Federal, existen antecedentes desde 1955, como se explica en el documento denominado *Abastecimiento de Agua de la Ciudad de México, infiltración de las Aguas de Lluvia al Subsuelo de la Ciudad y Valle de México*; sin embargo aún cuando existe bibliografía de estudios realizados sobre el tema, en la práctica se dista mucho de acciones concretas y trascendentales. A la fecha, se puede considerar que las experiencias iniciadas tienen un carácter completamente puntual, y no existe una planificación integral que permita la ejecución de esta práctica a un en las zonas más carentes de este vital líquido.

El objetivo del tren de tratamiento fisicoquímico para depuración de aguas residuales del Gran Canal y Río Churubusco, para reutilizar las en la recarga del acuífero del Valle de México. Los procesos empleados fueron coagulación-floculación, filtración a presión ozonación, sistema de membrana, desinfección por luz ultravioleta. Los resultados muestran que el mejor sistema coagulación-floculación fue PAX XL-60 y el floculante zwitteriónico. Para la ozonación las condiciones óptimas fueron un pH de 6.6-6.8 y dosis de ozono de 10 mg O₃/L con 20 minutos de tiempo de contacto.

En el caso de la adsorción el mejor carbón activado fue el mineral F400. Los parámetros de agua cruda que sobrepasan la NOM-014-CONAGUA-2003 son color, turbidez, compuestos fenólicos, SAAM, CT, CF. N-NH₃, N-NO₃, Al, Fe, y Na. El sistema fue eficaz para remover DQO (57%), color 75%), y turbiedad (96%). No se encontraron plaguicidas en el influente.



CAPITULO I

RECARGAS DE ACUIFEROS



El concepto de la RAA (recarga artificial de acuífero) es muy sencillo, consiste en el proceso de introducir agua, de manera intencionada, en un acuífero (formación subterránea capaz de almacenar y transmitir agua) para utilizarla después con un objetivo de calidad concreto. De esta manera es indispensable tomar en cuenta dos aspectos para poder calificar una actuación determinada de RAA. Por un lado, es necesario que la recarga se haga de forma planificada, intencionada, y no como consecuencia de otra obra.

Respecto a la Recarga Artificial del Acuífero en la Ciudad de México y en especial en el Distrito Federal, existen antecedentes desde 1955, como se explica en el documento denominado Abastecimiento de Agua de la Ciudad de México, *infiltración* de las Aguas de Lluvia al Subsuelo de la Ciudad y Valle de México; sin embargo aún cuando existe bibliografía de estudios realizados sobre el tema, en la práctica se dista mucho de acciones concretas y trascendentales. A la fecha, se puede considerar que las experiencias iniciadas tienen un carácter completamente puntual, y no existe una planificación integral que permita la ejecución de esta práctica a un en las zonas más carentes de este vital líquido.

1 Información Nacional e Internacional sobre Recarga Artificial D.F.

1.1 RECARGA D.F.

2001

➤ Estudios para evaluar los efectos de colmatación en la **recarga artificial** por inyección directa.

Se evalúa la operación del módulo de recarga en la PTAR(planta de tratamiento de aguas residuales) San Luis Tlaxiatalmalco y la operación de columnas de colmatación. Los parámetros principales de control fueron: color, turbiedad, conductividad eléctrica y alcalinidad total, SST, DQO, DBO, y nitrógeno en sus diferentes formas. En los resultados (ambos casos) se observa una pérdida de permeabilidad después de 12 meses de operación. Para el caso del módulo de recarga la remoción de los parámetros analizados no fue satisfactoria.

➤ Operación de los dispositivos experimentales para el **tratamiento avanzado de agua residual**.

El objetivo del trabajo antes mencionado es establecer las bases que permitan realizar la readecuación y operación de los dispositivos experimentales existentes en la planta experimental ubicada dentro de la PTAR Cerro de la Estrella. De los resultados se desprende que es factible el tratamiento de aguas residuales par ser reusadas en el riego de cultivos hortícolas de primer y segundo uso; siendo posible llegar a su potabilización. Sin embargo para esto último hacen falta pruebas más sensibles (bioensayos).

2002

No se reportan datos.

2003

➤ Diseño de **pozos de recarga** con agua tratada y sistema de control en el área de Cerro de la Estrella.

El objetivo del trabajo antes mencionad es localizar sitios apropiados para perforar pozos de recarga y pozos de observación en la zona de Cerro de la Estrella, diseñar las estructuras y recomendaciones de la infraestructura apropiada. Entre los resultados se menciona que el agua subterránea en esta zona circula por materiales volcánicos con presencia de minerales sulfurosos. Los sitios más factibles para recarga fueron los pozos 1,2 y 3. Estos sitios cumplen con las

especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-000-2002. Geoquímicamente el agua existente en el acuífero de Cerro de la Estrella cumple prácticamente con todos los parámetros permisibles de calidad del agua de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994,

Estructura para un sistema de captación e **infiltración de agua pluvial** en Tlalpan y Xochimilco.

El objetivo del trabajo antes mencionado es desarrollar a nivel constructivo el diseño cuatro estructuras de captación y depuración de agua pluvial con una capacidad de 50 a 200 lps. Se analizan dos sistemas recuperadores de agua pluvial: 1) sistema básico

2) sistema de remoción de finos. Se presenta el predimensionamiento y el diseño constructivo de ambos sistemas.

➤ Estudios para definir sitios de **infiltración para aguas pluviales** en la zona de Tlalpan.

Con el fin de impedir la generación de corrientes negativas y de recargar el acuífero se analizan sitios de infiltración artificial para las aguas pluviales en la zona montañosa basáltica de la Delegación de Tlalpan. Como resultado de este estudio, se recomienda evitar al máximo la infiltración en superficies aluviales o en la formación de tarangos, debido a que al poco tiempo resultarían problemas de colmatación. Infiltrar en la planicie lacustre será posible solo si el pozo atraviesa las arcillas y entra hasta buena profundidad de arenas aluviales.

Finalmente se hace hincapié en que el agua infiltrada artificialmente en los basaltos del pedregal (aunque no sea totalmente limpia) se infiltrará lentamente a través del medio granular de aluviones y tarangos hasta alcanzar el nivel freático actual después de varios años.

➤ Estudios para definir sitios de **infiltración para aguas pluviales** en la zona de Xochimilco.

Se analizan sitios de infiltración artificial en la zona de Xochimilco con el fin de impedir la generación de escurrimientos negativos y para recargar el acuífero. Entre las conclusiones se reporta que para introducir agua en los basaltos y escorias de malpais es suficiente perforar hasta 15 metros, contándose con una cámara de 4.5 m³. Además se resalta que aunque las agua introducidas en el subsuelo no sean de la calidad esperada, se aprovechará la enorme

permeabilidad de la formación de basaltos Chichinautzin, lo cual hace posible toda clase de infiltración mejorando la calidad de lo infiltrado.

- Realización de sondeos de mecánica de suelos para determinar la permeabilidad del subsuelo para construcción de **pozos de absorción de aguas pluviales** en diversos sitios de la delegación Milpa Alta.

Se realizan sondeos de mecánica de suelos en zonas factibles de recarga en la Delegación Milpa. En cada uno de los sitios se estiman filtraciones mediante métodos numéricos y de campo. Se identificaron sitios en los límites de las Delegaciones Xochimilco y Milpa alta (San Salvador Cuahtenco, San Pablo Actopan, San Antonio Tecomitl, y colonia Pedregal de Peñacotitla). Se reporta que los sitios seleccionados son adecuados para recarga por infiltración pluvial. La permeabilidad promedio en el área del barreno se encontró en el rango de 7.5 a 10.5 m/s, para todos los sitios.

- Realización de sondeos de mecánica de suelos para determinar la permeabilidad del subsuelo para construcción de **pozos de absorción de aguas pluviales** en las zonas norte y poniente de la Delegación Tlalpan.

Con el fin de facilitar el desalojo de las aguas en temporada de lluvias, se realizan sondeos en la zona de Tlalpan para determinar la permeabilidad del subsuelo y construir pozos de infiltración con un coeficiente de permeabilidad de 0.014 cm/s, a una profundidad de 20 m. bajo las condiciones de estudio, el sitio no será capaz de infiltrar un gasto deseado de 50 a 100 lps.

- Realización de sondeos de mecánica de suelos para determinar la permeabilidad del subsuelo para construcción de **pozos de absorción de aguas pluviales** en las zonas norte y poniente de la delegación Xochimilco.

Se realizan sondeos de mecánica de suelos en tres sitios denominados S-04-XC, S-09-TL, S-11-XC. Los sitios un coeficiente de permeabilidad entre 0.015 a 0.021 cm/s, en profundidades de 20 a 40 metros. Los tres sitios no tienen capacidad necesaria para infiltrar un gasto de diseño de 50 a 100 lps con un diámetro pequeño del pozo, como es el caso.

- Realización de sondeos de mecánica de suelos para determinar la permeabilidad del subsuelo para construcción de **pozos de absorción de aguas pluviales** en las zonas oriente y sur de la delegación Xochimilco.

Se realizan sondeos de mecánica de suelos en dos sitios de la Delegación Xochimilco. Los sitios se denominan S-08-XC y S-10-XC. Ambos sitios se reportan con mala capacidad de infiltración, con coeficientes de infiltración entre 0.0059 a 0.0061 cm/s, a profundidades de 50 m.

- Realización de sondeos de mecánica de suelos para determinar la permeabilidad del subsuelo para construcción de **pozos de absorción de aguas pluviales** en las oriente y sur de la delegación Tlalpan.

Sondeos de mecánica de suelos para determinar la permeabilidad del subsuelo en dos sitios de la Delegación Tlalpan. Los sitios se denominan S-05-TL y S-06-TL.

Los sitios presentan baja capacidad de infiltración, el coeficiente de permeabilidad es de 0.0037 cm/s y 0.0057 cm/s. Estos sitios no tienen la capacidad de infiltración necesaria (50-100 lps) con las dimensiones propuestas del pozo.

- Realización de sondeos de mecánica de suelos para determinar la permeabilidad del subsuelo para construcción de **pozos de absorción de aguas pluviales** en diversos sitios de la delegación Tláhuac.

Sondeos de mecánicas de suelos en cinco sitios de la Delegación Tláhuac. Los sitios se denominan como S-12-XC, S-13-XC, S-14-TH, S-16-MA, S-17-XC. Los coeficientes de permeabilidad respectivos se encuentran en el intervalo de 0.0001 a 0.00033 cm/g. ninguno de los sitios proporcionara el gasto del diseño esperado (50-100/lps), con los diámetros pequeños de estos pozos.

2004

➤ Estudios para dar seguimiento durante las actividades de perforación de los **pozos de absorción** en la parte sur del D.F.

Se presentan los detalles de la perforación y pruebas de permeabilidad en 19 pozos de absorción en el sur de la ciudad. Los pozos se perforaron en roca basáltica en parte fracturada y alternancia de colada basáltica y piroclastos. De acuerdo a los resultados presentados se determinó que las zonas más permeables se localizan en los contactos entre las coladas de basaltos fracturados con los clastos volcánicos, los cuales se manifestaron de los 3 a los 14 m. De profundidad. Los 19 pozos estudiados presentan caudales entre 50 y 153 lps.

➤ Estudios para dar seguimiento durante (sic) las actividades de perforación de los **pozos de absorción** en las zonas de Pedregales, Coyoacán y Tlalpan.

Se describen los detalles de la perforación de 15 pozos de adsorción en la parte sur de la Ciudad de la México. Estos estudio se realizaron en la zona de los Pedregales, Coyoacán y Tlalpan, con el fin de recarga y para la disminución de inundaciones. De acuerdo a los resultados, las unidades de estas zonas están constituidas por materiales volcánicos, como basalto fracturados, alternancia de depósitos piroclásticos (tezontle, lapilli, cenizas). La permeabilidad de los pozos se encuentra en el intervalo de 0.006 a 11.34 cm/s., y las profundidades de los pozos entre 83 y 172 m.

➤ Proyecto ejecutivo de 3 **pozos de absorción** en Fuentes Brotantes, Delegación Tlalpan.

Elaboración de tres proyectos ejecutivos de estructuras de captación y conducción a pozos de infiltración de agua pluvial. Estos pozos se localizarán en las zonas de Fuentes Brotantes, Delegación Tlalpan. El presupuesto de cada pozo se encuentra entre \$430 000.00 y \$ 545 000.00 los gastos picos estimados para los escurrimientos totales se encuentran en el intervalo de 75 a 193 lps, para cada pozo.

➤ Proyecto ejecutivo de 7 **pozos de absorción** en las Delegaciones Milpa Alta y Tlalpan.

En este documento se presentan datos, planos y costos para perforación de 7 pozos de adsorción en las Delegaciones Milpa Alta y Tlalpan. El objetivo principal de la realización de estos levantamientos topográficos es el de obtener información necesaria para elaborar un proyecto integral de recarga del acuífero, aprovechar el agua de lluvia y el control de los escurrimientos pluviales. Los presupuestos para cada pozo se encuentran en el intervalo de \$ 420 000.00 y \$ 570 000.00.

2005-2010

-Estudio localizados en el acervo de la biblioteca del SACM, pero que al momento de realizar la presente investigación no se encontraban disponibles.

-Estado hidrogeoquímico de acuíferos.

-Experimentación en tratamiento avanzado de aguas residuales (2ª Fase). (Colocación:

-Actividades geohidrológicas en Valle de México para sitios y estructuras para recarga artificial de aguas residuales.

-Aplicación de un modelo matemático de predicción de la evolución de contaminantes de acuíferos.

-Balance geohidrológico en el Distrito Federal y modelación de la explotación del acuífero.

-Balance geohidrológico y recarga artificial en la ZMCM.

-Estudio de factibilidad técnico económica para la recarga del acuífero de la ZMCM con aguas residuales tratadas.

-Estudio para evaluar el impacto de la recarga artificial del acuífero con agua residual tratada.

-Estudio de la evolución del nivel del agua subterránea en la zona de explotación del Distrito Federal. Mediciones y Balance 1999.

-Estudio para el modelo hidrogeoquímico para simular el comportamiento del agua de recarga y la del acuífero para dar cumplimiento a la normatividad ambiental.

-Modelo geológico tridimensional del subsuelo de la zona plana de la ciudad de México para la ubicación potencial de sitios de infiltración y explotación de acuíferos.

RECARGA INTERNACIONAL

Por otra parte, la lista de países y experiencias a nivel mundial sobre la Recarga Artificial del Acuífero, es extensa. A grandes rasgos, se puede considerar que, en Europa, el interés primordial de la recarga artificial es la producción de agua potable íntegra, puesto que se trata del último proceso de la cadena de potabilización. En cambio, en Estados Unidos es más común el concepto de acuífero como almacén provisional del agua recargada, que será aprovechada en un plazo breve de tiempo. También están en auge en aquel país los sistemas de humedales artificiales que aprovechan las aguas residuales regeneradas con fines ambientales y paisajísticos. En Australia, por otro lado, la reutilización de aguas residuales tratadas y de agua de escorrentía de tormenta es considerada como una alternativa viable para incrementar la disponibilidad de recursos. Los esquemas de RAA son parte fundamental de esa visión integradora. El desarrollo hidrológico de Israel es sencillamente extraordinario, pese a las limitaciones inherentes a su clima. Por ello, hace ya décadas que se trabaja de forma intensa en proyectos de RAA, uso conjunto de aguas superficiales, subterráneas y su reuso.

A nivel internacional el tema de la recarga del acuífero, cada vez retoma mayor importancia, debido a la escasez del vital líquido en las diferentes zonas del globo terráqueo. La Recarga Artificial de acuíferos es una herramienta extremadamente útil para la gestión de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas. Pero, además, la concienciación creciente acerca de temas como el desarrollo sostenible y la vulnerabilidad a diversos contaminantes explica por qué en diversos países noreuropeos se considera a esta tecnología como una parte esencial de los sistemas de abastecimiento a los núcleos urbanos principales.

1.1. CARACTERISTICAS DE RECARGA ARTIFICIAL EN DIFERENTES PAISES

PAIS	RECARGA(hm ³ /a)	ACUIFERO	ESQUEMA	AGUA DE RECARGA	OBJETIVOS
Phoenix(Arizona)	370	Sedimentario	Balsas	Río Colorado y efluente terciario	Aumentar recursos reutilizar agua
Tucson(Arizona)	52	Sedimentario	Balsas	Efluente terciario y río Colorado	Aumentar recursos reutilizar agua
Cornellá(Barcelona)	5	Sedimentario	Pozos ASR	Agua de río tratada (potable)	Garantizar suministro
Gainesville(Florida)	9,9	Carbonatado	Pozos ASR	Efluente terciario	Evitar eutrofización
Omán	437 hm ³ (1985-1998)	Sedimentario	17presas de recarga	Esorrentía de tormenta	Aumentar los escasos recursos
Oxnard Plains(California)	3200hm ³ (1980-1996)	Sedimentario	Balsas	Agua superficial	Lucha contra la intrusión salina
Paris (Francia)	54	Sedimentario	Balsas(15 ha)	Rio Sena (tratada)	Mejorar calidad asegurar suministro
Región de Dan (Israel)	103	Sedimentario	Balsas	Efluente secundario	Aumentar los recursos Mejorar agua tratada
Salem (Orlando)	1.3(Ciudad)	Basaltos	Pozos ASR	Esorrentía	Control de avenidas y drenaje
Whittier Narrows (california)	274	Sedimentario	15 Balsas	Superficial (84%) y residual tratada (16%)	Conservación del recurso
México D.F.	1,200	Volcánicas y sedimentos carbonatados	Riego	Residual sin tratar	Riego y eliminación de agua residual

Esta tabla nos muestra el uso de agua de recarga de diferentes países y su objetivo principal de la recarga entre ellos México.

HUNGRÍA

Se utiliza la técnica de la Recarga Inducida en el abastecimiento a Budapest, en una cantidad de $180 \text{ m}^3/\text{a}$. El agua utilizada en la operación de recarga procede del Río Danubio que, en el proceso de infiltración a través del terreno, sedepura. Posteriormente es recuperado mediante bombeo y puesta en la red de abastecimiento.

BÉLGICA

En Wulpen, Bélgica para reducir la extracción del agua subterránea natural para la producción de agua potable y disminuir la intrusión salina en la costa flamenca de Bélgica, $2,500,000 \text{ m}^3$ de efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales por año se infiltran en las dunas después del tratamiento con MF, OI y UV. El líquido filtrado producido de IO se reacondiciona, el contenido de sales para verterla en el agua de la duna. El agua recargada se utiliza después de un rato de residencia mínimo de 40 d en el acuífero de la duna. Y cumple con los estándares de calidad del agua potable; el sistema de recarga se realiza según lo esperado y resultado es un agua más suave.

SINGAPUR

Como parte de una fuente de suministro de agua en Singapur se lleva a cabo el Proyecto Newater para suplir los recursos de agua dulce. Usando para la producción de agua potable el agua reacondicionada. Desde enero 2004 la tercera planta de recuperación de agua está en operación se aumentó la capacidad total a $91,000 \text{ m}^3/\text{d}$. El proceso de recuperación implica un tratamiento de doble-membrana, el efluente secundario se trata con MF, OI y desinfección final de UV.

FINLANDIA

Es el primer país europeo que comenzó a utilizar la recarga artificial a escala industrial mediante el sistema de recarga inducida. En la actualidad dispone de 28 plantas de este tipo, con capacidades de hasta $21.000 \text{ m}^3/\text{día}$. El porcentaje que la recarga artificial supone sobre el total del agua destinada a abastecimientos urbanos, se cifra en el 9%, correspondiendo otro 9% a agua procedente de recarga inducida. Laplanificación hidrológica que selleva a cabo en estos momentos en Finlandia prevé un uso de esta técnica a un nivel cada vez más importante como apoyo al suministro urbano de poblaciones.

DINAMARCA

En este país el 99% del agua suministrada para consumo humano es de origen subterráneo. De ahí que, en los últimos años, hayan tomado cada vez más importancia las experiencias de recarga artificial como apoyo al abastecimiento urbano. En la actualidad está operativa, desde el año 1994, una planta industrial experimental situada en la isla de Zealand, construida por la compañía de abastecimiento a Copenhague, que en 1997 infiltró, en un acuífero detrítico cuaternario, más de 300,000 m³ de agua procedente del lago Arreso, que tiene una elevada cantidad de algas, algunas tóxicas, así como de pesticidas. Los primeros resultados son esperanzadores, e indican que los contenidos en elementos no deseables se reducen considerablemente tras su paso por la zona no saturada. La compañía suministradora de agua a Copenhague espera que, en un futuro no lejano, la recarga artificial esté integrada como un elemento más del sistema de recursos hídricos que suministra agua a la ciudad.

1.1.4 RECARGA DEL MANTO ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La ciudad de México ha rebasado ampliamente los límites de su entidad de origen, el Distrito Federal, esta región ha sido denominada Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), por algunos estudiosos y otros la nombran Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

Desde el punto de vista del uso de los recursos naturales, la cuenca de México ha cambiado durante este siglo de un alto nivel de autosuficiencia a una completa dependencia de productos provenientes de otras regiones. Los mejores suelos de la cuenca han sido ocupados por construcciones, el acuífero subterráneo se ha hundido en algunas zonas más de diez metros, y buena parte del agua dentro de la cuenca está fuertemente contaminada. El agua en los acuíferos del subsuelo es el resultado de un largo y lento proceso de acumulación por parte de las aguas superficiales, que penetran a través de los substratos del suelo y se van estacionando en los niveles más bajos. La velocidad de percolación del agua superficial hacia el subsuelo se conoce técnicamente como "recarga" del acuífero. El consumo humano requiere agua potable para diferentes usos demandando cantidades que se satisfacen con agua de regiones externas al Valle de México; además de extraer el agua por medio de bombeo del acuífero. El balance entre bombeo y recarga, es decir, la diferencia entre lo que entra al acuífero y lo que se extrae de él, es una medida de la explotación del recurso hídrico.

En realidad, la recarga tiende a disminuir con el crecimiento de la ciudad. Al aumentar la mancha urbana, aumentan las superficies cubiertas por asfalto, concreto y edificaciones que son impermeables a la infiltración del agua. Cuando llueve sobre la ciudad, el agua que cae sobre estas superficies es enviada directamente a la red de drenaje, y no tiene posibilidades de ser incorporada al acuífero por medio de la infiltración a través del suelo.

La tala de los bosques en la periferia de la ciudad tiene también un efecto negativo sobre la recarga. Mientras que el suelo orgánico del bosque es poroso, permeable, y tiene una alta capacidad de retención del agua, los suelos pisoteados y compactos de las zonas taladas son menos permeables y tienen una baja capacidad de acumular o infiltrar el agua. Su importancia radica en que son capaces de regular el comportamiento de los manantiales y la incorporación del agua a los acuíferos profundos.

Una de las principales consecuencias del déficit entre bombeo y recarga del acuífero de la cuenca de México son los hundimientos diferenciales del subsuelo. Al bombear, disminuye el contenido de agua de las arcillas que forman los fangos del antiguo lecho de los lagos en el valle de México. Al perder humedad, las arcillas y los sedimentos orgánicos se contraen y el suelo disminuye su volumen y baja de nivel. Los descensos del nivel del terreno dependen de la velocidad local a la que se extrae agua del subsuelo y de la profundidad, y naturaleza de los sedimentos.

No podemos mostrarnos optimistas acerca de estas perspectivas. Todo parece indicar que el crecimiento urbano de la ciudad está rápidamente agotando sus límites de extracción. Debemos asumir el futuro como un problema científico y también como un problema político asociado al modelo de desarrollo del país. Es claro que deben tomarse acciones decididas antes de que el problema nos supere por sus dimensiones. Desde el auge de Teotihuacán la historia de la cuenca de México es una historia de crecimiento, colapso en el ámbito del uso del agua. Quizás más agudos que nunca, muchos de los problemas actuales de la ciudad de México son casi una tradición de la metrópoli. La cuenca de México, ha sido de las regiones más densamente pobladas del planeta; lo anterior ha generado una serie de impactos ambientales, entre los que se encuentran la contaminación atmosférica, el agotamiento y la contaminación de los acuíferos, la generación de residuos sólidos que ha sobrepasado la capacidad de los sitios de disposición y la desaparición de los bosques por el crecimiento de las zonas urbanas, la expansión de las actividades agropecuarias y el manejo inadecuado del suelo. (1) **Fuente SEMARNAT.**

Durante los próximos años la ciudad de México, seguirá creciendo; la velocidad a la que crezca depende de las alternativas que se generen en otros polos de desarrollo a nivel nacional. Los costos del crecimiento dependen del grado de organización y de solidaridad que demuestren los mismos ciudadanos para resolver los problemas ambientales. Rápida e irreversiblemente, México se está transformando de un país rural en un país eminentemente urbano. Está en nuestras manos, encontrar respuestas creativas a los viejos y a los nuevos problemas que plantea el desarrollo industrial

Cuenca de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

En los inicios del siglo XX se comenzaron a extraer grandes volúmenes de agua del subsuelo para satisfacer las demandas de la creciente población, El crecimiento de la mancha urbana sobre las áreas de recarga. Anualmente se ocupan entre 200 y 300 hectáreas adicionales de las áreas de captación, a pesar de que desde 1986 fueron delimitadas como Zona de Conservación Ecológica. Con cada metro cuadrado que se ocupa, en promedio se pierden 170 litros de agua de recarga anual. Dicho de otra manera: por cada hectárea que se ocupa, perdemos el agua que consumen mil 500 familias. Consecuentemente, el abasto local disminuye y la sobre explotación del acuífero crece. Los pozos tienen que ser cada vez más profundos, incrementándose los costos de perforación y bombeo. A medida que la extracción es más profunda, gradualmente disminuye la calidad del agua para consumo humano esto hace que el agua este más contaminada por tanto no es recomendable que se tenga que excavar tanto para obtener agua.

El 57% del territorio del Distrito Federal es zona de conservación ecológica. En ella existen aun más de 36 mil hectáreas de bosques y más de 30 mil hectáreas de áreas agrícolas. Esta zona incluye también las 24 subcuencas que alimentan de agua a los mantos acuíferos subterráneos del Valle. Las mediciones de la precipitación pluvial indican que tan sólo en esta zona se reciben más de 773 millones de metros cúbicos al año, volumen que supera los 625 millones que se extraen en toda la cuenca. (En la cuenca se reciben 6,700 millones de metros cúbicos al año, que equivalen a casi cuatro veces el consumo total que realiza toda la zona metropolitana). **Fuente Conagua 2007**

Sin embargo, todo el proceso de infiltración se da en forma natural, porque la infraestructura de captación construida es insignificante. Así, se estima que solo el 18% de la lluvia que cae dentro de la zona de conservación ecológica se infiltra para recargar los acuíferos, La infiltración es menor en el resto de la cuenca, dada su menor permeabilidad natural y la extensa construcción urbana en la que se concentra.

El territorio del Distrito Federal cuenta en un 59.5% de su extensión con el suelo de conservación (SC), el cual comprende más de 88,500 ha, incluida la región ecológica. Esta zona está conformada por 24 subcuencas que alimentan al acuífero del Valle de México. (3) **Fuente: INEGI Marzo2006**

En la zona del Ajusco, la sierra de Guadalupe y la sierra Chichinautzin, se produce la mayor recarga del acuífero del Valle de México. Estos son pequeños acuíferos semiconfinados y con un área de recarga de 1825 Km² de la que se extraen 925 Mm³ al año. En el Valle de México,

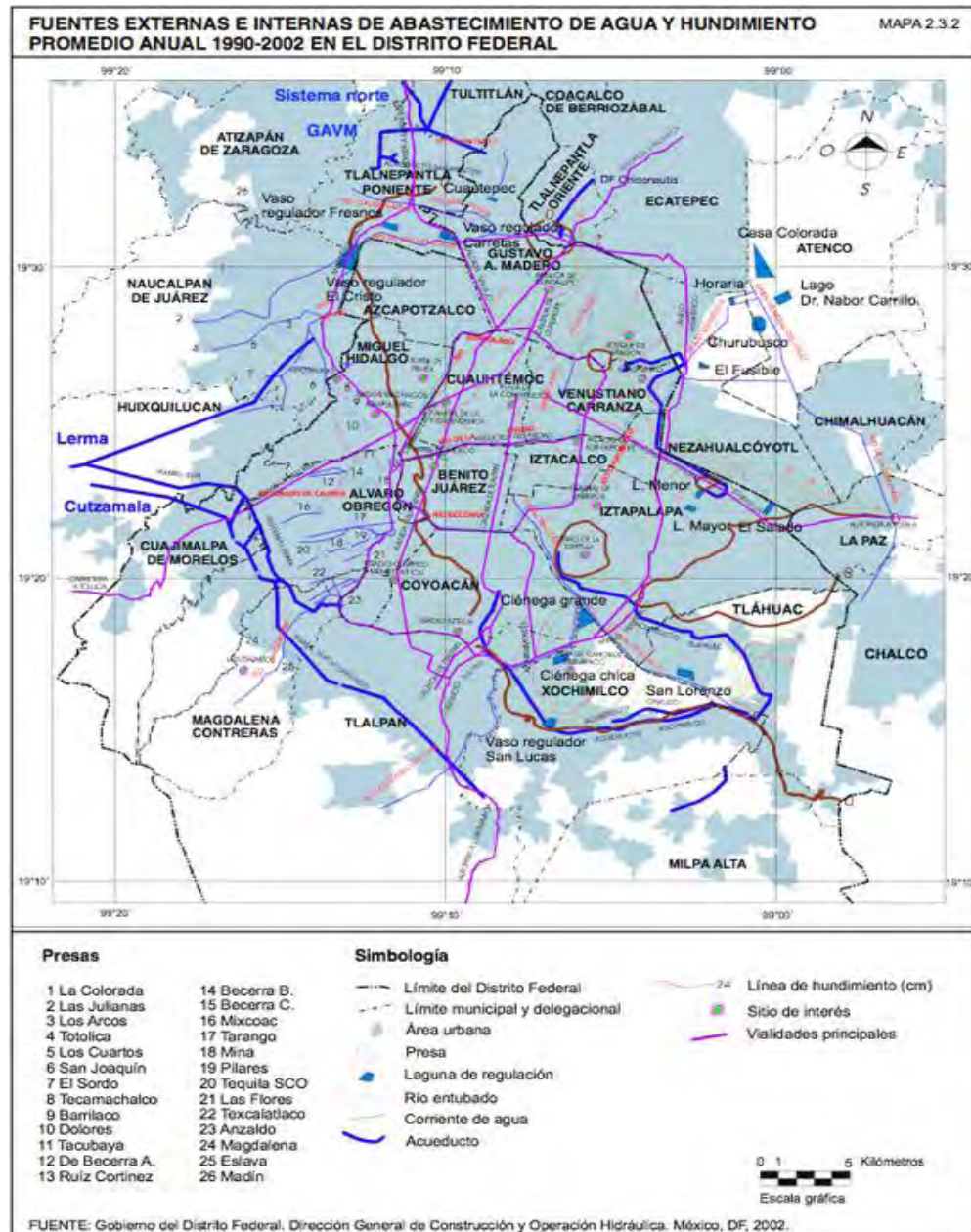
aproximadamente del 72% al 78% de la precipitación total se pierde en la atmósfera mediante procesos de evaporación-transpiración sólo del 13% al 20% se recarga el acuífero.

Por razones históricas y políticas, México es un país muy centralizado. A causa de esto los servicios gubernamentales y el desarrollo industrial se han concentrado en la Ciudad de México. En ella se localiza el 45% de la actividad industrial nacional; tiene lugar el 38% de su producto nacional bruto; y junto con la zona conurbada concentra el 20% de la población del país. La ciudad alberga casi todas las oficinas de gobierno, los centros de negocios nacionales e internacionales, las actividades culturales, las universidades y los institutos de investigación más importantes. El rápido crecimiento de los últimos 50 años se ha caracterizado tanto por la expansión de áreas urbanas y residenciales planeadas para las clases media y alta, como por las invasiones ilegales de tierra y los asentamientos no planificados en las áreas periféricas. (3)**Fuente: INEGI Marzo2006.**

A lo largo del tiempo, las autoridades gubernamentales han prestado atención a este crecimiento, proporcionando los servicios urbanos desde la perspectiva de la oferta, es decir, buscando siempre nuevas fuentes de suministro para cumplir con los crecientes requerimientos de servicios en la Ciudad de México. El agua no ha sido la excepción, inicialmente con la explotación del acuífero y posteriormente con el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura hidráulica para traer agua del Valle de Lerma (Estado de México), y del Sistema Cutzamala (Estado de México y Michoacán). A pesar del esfuerzo, de las millonarias inversiones y la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento, en no pocas zonas de la Ciudad de México el servicio de agua es insuficiente e inadecuado la mayor parte del tiempo.

La búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, así como la sobreexplotación de las fuentes de suministro, como casi único medio para resolver la demanda de agua de la Ciudad de México; no se tienen registros de cuando comienza la sobreexplotación del acuífero, pero a partir de la década de los 50's cuando se manifiestan los efectos en la ciudad por la falta de agua expresados estos como hundimientos. Las últimas estimaciones en el acuífero arrojan un balance hidráulico negativo en 30%, es decir de cada 1000 litros que se extrae tan sólo se recargan 300 litros. (4)**Fuente: (Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México Dic-2007).**

Fig. 1.1.- Porcentajes De La Sobreexplotación De Acuíferos De La Ciudad De México.



Causas De La Sobreexplotación De Los Acuíferos

Uno de los principales problemas de la insustentabilidad ambiental de la ZMVM es el uso excesivo del agua, debido a que la tasa de extracción supera a la de recarga. Los acuíferos del Distrito Federal se encuentran sobreexplotados debido a la creciente demanda, y se prevé que se encontrará en situación crítica por la presión del agua, si continua con su sobre explotación indica información del Instituto Nacional de Ecología. Según la CONAGUA, ya desde 1954 se rebasó el límite de sustentabilidad y se extrae cinco veces más líquido de lo que se recarga.

En el Distrito Federal se estima un consumo por persona al día de 150 litros mientras que en el Estado de México es de 100 litros, cabe destacar que el consumo del líquido es desigual y depende del ingreso familiar.

En la actualidad los habitantes de la ciudad de México dependen de los recursos del agua subterránea, Las formaciones arcillosas constituyen el acuitardo del valle de México, estas se encuentran sobre saturadas y presentan niveles freáticos entre 2 y 3 metros de profundidad, la consolidación de las arcillas es provocada por:

- Desección debido al desagüe artificial de la cuenca,
- Cargas muertas y vivas.
- Sobre explotación de los acuíferos.

- En el año 1910, el terreno en el que se asienta la ciudad de México estaba 1,90 m arriba del Lago de Texcoco, ahora está 10 m abajo.
- El hundimiento máximo actual de la Ciudad de México es de 40 cm al año y el promedio de 10 cm.



Pozo que demuestra el hundimiento en San Juan de Aragón en el periodo 1936-2005.



Figs. 1.2. Hundimiento (Julio, 2008).

La sobre explotación del acuífero ha provocado el descenso de sus niveles piezométricos y el cambio de sus características de confinado a libre. Los sedimentos arcillosos se encuentran separados por una capa dura localizada entre los 30 o 40 m de profundidad, la cual posee un espesor variable de 1 a 4 m. el hundimiento de la ciudad de México se ha dividido en tres periodos:

- 1898 A 1937 5 CM / AÑO.
- 1947 A 1968 14 CM / AÑO.
- 1970`S 40 CM / AÑO.
- Fin Del Periodo 10 CM / AÑO.

El D.F. ocupa el 14% del área de la cuenca del valle de México, misma que cubre la superficie de 9,600 Km² esta última se trata de una cuenca cerrada, que no cuenta con salidas naturales de los escurrimientos pluviales y sanitarios generados.

La extensión territorial del D.F. es de 1,504 Km² cifra que representa el 0.1% de la superficie total del país, para su administración está dividido en 16 delegaciones políticas. Durante el año, en el D.F. llueven del orden de 1,313.7 millones de metros cúbicos, de los cuales el 58.6% regresa a la atmosfera como evaporación-transpiración de las plantas, el 19.9% se infiltra y el 21.5% Restante escurre fuera de la identidad a través del drenaje profundo, el gran canal de desagüe y los túneles de Tequisquiac.

Las condiciones del crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de México y zona conurbada, así como el acelerado crecimiento demográfico, origino que se poblaran y urbanizaran zonas que eran recarga natural de acuífero y actualmente dificultan el aprovechamiento de los escurrimientos pluviales. Esta situación provoco paulatinamente la disminución del nivel de infiltración de agua de lluvia a los mantos freáticos, situación que al cabo de varios años ha originado un déficit en el caudal del agua que se extrae y el que se logra infiltrar de manera natural.

La perdida de infiltración ha reducido considerablemente la alimentación del acuífero que subyace la ciudad y del cual ha sido necesario llevar a cabo una extracción permanente mediante bombeo, provocando una sobre explotación del manto acuífero. **(8) Fuente: “Sistema De Captación Pluvial... (DIC-2007.)**

1.1.5 Consecuencias de la sobreexplotación del acuífero.

Aumento de costos de agua

La sobreexplotación del acuífero provoca que la ciudad se vea obligada a substituir el agua de su acuífero con mayores volúmenes de fuentes externas, a cualquier costo. Como será políticamente imposible transferirle a la ciudadanía el nuevo costo del agua, los actuales subsidios, crecerán significativamente y tendrán que ser absorbidos por las finanzas de la ciudad, restando cuantiosos recursos a la realización de otros proyectos urbanos

Hundimientos de la zona metropolitana

Con el hundimiento del suelo, se quiebra la infraestructura hidráulica de la ciudad y se dañan los cimientos de los edificios. Los daños a la red de distribución propician fugas de agua potable calculadas en 30% del caudal conducido, reduciendo el abasto a los hogares. Adicionalmente, al quebrarse los tubos del drenaje, las aguas residuales se infiltran en el subsuelo contaminando progresiva y crecientemente los mantos acuíferos.

El hundimiento del suelo también ha obligado construir un sistema de drenaje muy profundo, para evitar que la ciudad se inunde de aguas negras. Drenaje que tomara más de 25 años terminar, con un costo actual estimado en 30 millones de pesos por cada uno de sus 170 kilómetros de longitud. En el Distrito Federal, los hundimientos han provocado daños al sistema de drenaje y alcantarillado, esto propicia que en temporada de lluvias las calles se inunden y se pierda un gran volumen de agua por la contaminación. La sobreexplotación del acuífero trajo consecuencias que se han ido manifestando como las grandes grietas que presentan las casas y edificios en particular en el oriente de la ciudad; así como en el Valle de Lerma, donde la escasez de agua ha redundado en cosechas magras, además de la degradación de la calidad del agua subterránea. La Ciudad de México requiere preservar su suelo de conservación, evitando que la mancha urbana continúe invadiéndola. Como consecuencia del crecimiento de la mancha urbana, lo que antes eran áreas verdes, ahora se han convertido en edificios y calles pavimentadas, lo que ocasiona que 1100 millones de m³ no se infiltren al subsuelo sino que corran hacia el drenaje y se contaminan.

1.1.6 Recarga del acuífero de la zona metropolitana de la ciudad de México

A continuación se mencionan 2 características con las cuales cumple la ZMCM, lo que hace más factible la recarga por agua residual tratada.

1^{ro}. Que existan zonas permeables que permitan la infiltración del agua de acuífero. Dichas zonas se pueden alcanzar por medio de pozos y lagunas. Las lagunas de infiltración requieren una gran superficie de terreno. Conviene hacer notar que las condiciones geológicas del valle de México impiden la infiltración de agua a través de lagunas en prácticamente toda el área del antiguo lago, por lo que este método de recarga solo se puede realizar en los flancos de las sierras. Por otra parte, la recarga a través de pozos no requiere de gran extensión de terreno. Además, los pozos atraviesan la capa de arcillas impermeables que cubre la superficie.

2^{do}. La existencia de agua disponible para la recarga. Los volúmenes disponibles en la ciudad de México, corresponden a las aguas residuales renovadas provenientes de plantas de tratamiento distribuidas prácticamente en toda la ciudad.

Para el caso del acuífero del Valle de México, se considera problemático el método de recarga por inducción, ya que con el tiempo el suelo se satura de contaminantes y al descomponerse

anaeróbicamente, induce a más contaminantes (metales tóxicos) que pueden llegar al acuífero. Esta situación obliga a pensar que la manera más recomendable para la recarga con agua residual es la inyección directa de agua tratada del acuífero, puesto que garantiza la calidad del agua.

Una vez recargado el acuífero se rehidratan las arcillas lo que hace que aumente el volumen y sostenga al valle de México evitando así su hundimiento y consecuentemente se previene la sobreexplotación del mismo

Registro De Agua Para El Acuífero

Conservadoramente, entre el 50% y el 75% del volumen total escurrido, es decir, entre 70 y 105 millones de metros cúbicos al año podrían enviarse a recargar al acuífero, si se construyera la infraestructura necesaria. En la Ciudad de México se recibe una precipitación anual que genera volúmenes de escurrimiento de 6700 millones de m^3 . De este volumen de escurrimiento una gran parte se evapora (4300 millones de m^3) y solo 1300 millones de m^3 escurren en los ríos y arroyos que se encuentran en el Valle de México.

En la ciudad de México actualmente se consumen $35 m^3/s$ de agua, lo que en promedio sería 360 litros por persona. La Ciudad de México obtiene el agua que requiere para sus actividades de tres fuentes principales: el 60% se extrae de los mantos acuíferos; el 26.5% de las cuencas de los ríos Lerma y Cutzamala y el 2.5% restante de las fuentes superficiales que aún subsisten en la cuenca del Valle de México, como el río Magdalena.

De los mantos acuíferos se extraen $45 m^3/s$, mientras que solo $25 m^3/s$ se reponen naturalmente por medio de la infiltración, esto indica que el acuífero está siendo sobreexplotado, ya que se extraen $20 m^3/s$ más que el agua que se recupera.

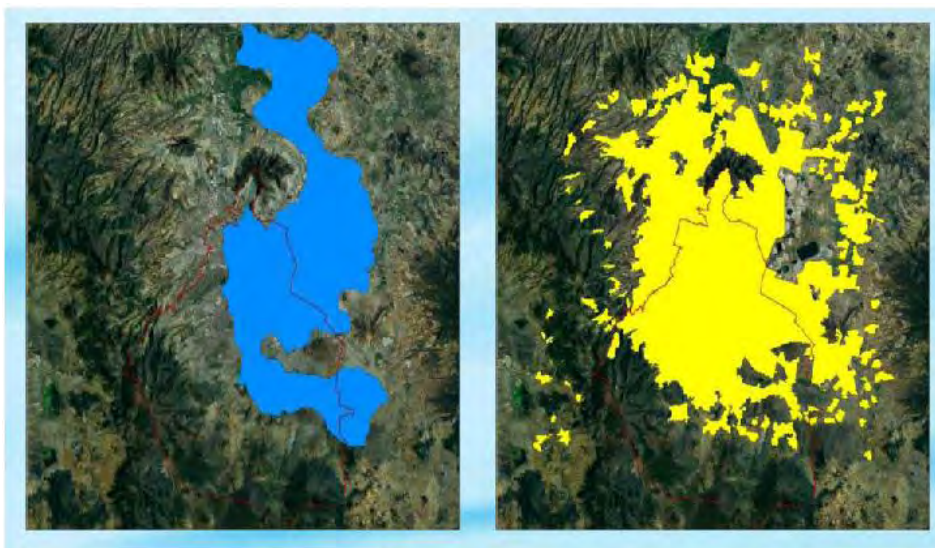


Fig. 1.3. Superficie Lacustre en el siglo XVI, era de 2000 Km². El área actual de la ZMVM es de 1894 Km².

1.1.7 PROBLEMAS DE DESABASTO DE AGUA POTABLE

La política de suministro intermitente en las zonas de mayor dotación de agua, es parte del proceso de distribuir el déficit de agua en la Zona Metropolitana Del Valle De México (ZMVM), en donde la carencia de agua se absorbe entre las demarcaciones con menor dotación. Las regiones en donde la dotación es baja están sumamente pobladas.

El agua es un recurso vital para la vida y soporte del desarrollo económico y social de cualquier país del mundo, fundamental para los ecosistemas y requisito para la sustentabilidad del medio Ambiente y su biodiversidad. La distribución natural del agua en el ámbito mundial y regional es desigual: mientras en algunas regiones es abundante, en otras es escasa o inexistente.

La disponibilidad del líquido depende de la dinámica del ciclo hidrológico, en el cual los procesos de evaporación, precipitación, transpiración y escurrimientos dependen del clima, las características del suelo, su vegetación y de la ubicación geográfica. El hombre ha alterado dicho ciclo para satisfacer diversas necesidades, principalmente para uso agrícola, industrial, y doméstico.

México enfrenta diversos problemas de abastecimiento de este recurso dos de ellos son como escasez y contaminación. En las zonas rurales los principales problemas de disponibilidad del agua son el desabasto y su falta de potabilización expuestas a la contaminación debida a la exposición y arrastre de partículas orgánicas e inorgánicas.

Existen diversos factores que influyen en la calidad del agua que consume una población. Entre éstos se encuentra la presencia o ausencia de fuentes de abastecimiento naturales de agua; la infraestructura de redes de almacenamiento y distribución de agua; los aspectos culturales y socioeconómicos que condicionan la aceptación o rechazo a ciertas formas de abastecimiento y potabilización de agua y por último, factores políticos que afectan la normatividad relativa a la inversión en el desarrollo y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua potable.

En México, existe una disponibilidad natural media de agua de 474 mil 637 hm³ al año, que lo ubica en el ámbito mundial como uno de los países. Con disponibilidad baja.

- . Existen alrededor de 4000 presas en México, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con la definición de la “International Comisión on Large Dams”, ICOLD. Es decir, tienen una profundidad mayor a los 15 metros y/o una capacidad mayor a los 3 millones de metros cúbicos. La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de 150 km cúbicos de agua.
- En el país, existen alrededor de 653 cuerpos de agua subterránea o Acuíferos, 104 están sometidos a sobreexplotación. Del total de acuíferos. Se extrae más del 60% del agua subterránea destinada para todos los usos.
- Debido a la sobreexplotación, la reserva de agua subterránea está disminuyendo a un ritmo cercano a 6 km³ por año.
- Al 2004, la disponibilidad natural de agua por habitante en el país fue de 4 mil 505 m³ anuales; la menor se registró en la región del Valle de México (188 m³/hab) y la mayor en Chiapas (24 mil 549 m³/hab).
- La infraestructura para la potabilización del agua suministrada está Constituida por 864 plantas; de éstas 770 se encuentran en operación.

1.1.8 CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA POTABLE

El agua potable es aquella que reúne ciertas características de pureza química, física y microbiológica, que la hacen apta para ser consumida por seres humanos. Debe estar prácticamente libre de contaminantes tóxico y de microorganismos patógenos, y debe ser transparente y carente de colores, olores y sabores extraños. Debe tener un bajo contenido de materia orgánica disuelta, porque de otra manera se favorecería la descomposición de ésta en el líquido, con proliferación de microorganismos y aparición de olores desagradables. En la cuenca de México, el agua proviene de dos fuentes principales: el agua subterránea y el agua superficial. En general, la contaminación por residuos orgánicos, industriales o domésticos es más alta en las aguas superficiales, dado que las aguas subterráneas pasan por un lento proceso de filtración natural durante supercolación hacia los horizontes profundos del suelo. Así, las aguas subterráneas profundas son menos turbias y tienen cantidades más bajas de microorganismos en suspensión que las aguas superficiales. Por la obscuridad en la que se encuentran, no muestran desarrollo de algas (las algas, como todos los vegetales, requieren de la luz solar para la fotosíntesis).

Sin embargo, las aguas subterráneas presentan otra serie de problemas para su potabilización que deben ser tomados en cuenta. La cantidad de minerales disueltos en las aguas del subsuelo es mucho mayor que en la superficie, y con frecuencia se presentan en ellas algunos minerales tóxicos como los óxidos de manganeso, el amonio y los nitratos. La capa de agua profunda puede también verse afectada por contaminantes del subsuelo, tales como los líquidos que percolan de los basureros y las zanjas de rellenos sanitarios (conocidos con el nombre técnico de "lixiviados"), o los líquidos del drenaje doméstico e industrial que pueden en ciertos casos filtrarse en profundidad.

Por su baja cantidad de sedimentos y la transparencia de su color, las aguas subterráneas pueden dar una falsa impresión de limpieza al ser extraídas del subsuelo, pero pueden presentar en ciertos casos una gran cantidad de contaminantes que deben eliminarse antes de su distribución final como agua potable.

El agua del valle de México proviene de un conjunto diverso y heterogéneo de fuentes, pero la proporción del agua que proviene de manantiales espontáneos y de fuentes brotantes es cada vez menor. La mayor parte del agua que se consume en la ciudad de México es bombeada de los acuíferos del valle, por medio de pozos profundos.

1.1.9 ZONAS DE POSIBLE RECARGA

Existe un estudio, recientemente hecho por la **Empresa Benton y Asociados, S.A. de C.V. (OCT-2003.)**, en este estudio se enlistan los pozos existentes en el área cerro de la estrella, consistentes en cortes litológicos, datos del nivel estático, nivel dinámico, caudal y calidad del agua y datos constructivos de los mismos.

Se elaboraron planos de profundidad de nivel estático, de capacidades específicas, geoquímicas, así como secciones geohidrológicas y graficas del comportamiento de nivel estático de algunos pozos. Los valores de capacidades específicos de los pozos existentes en el área cerro de la estrella y que varían de 79.89 lps/m a 7.42 lps/m.

Piezométricamente, en el área de estudio, se presentan abatimientos del orden de 1.27 m/año y 0.81 m/año; esto indica de cierta forma que se extrae mediante los pozos del acuífero un volumen mayor de agua del que entra mediante recarga y que se refleja en un abatimiento continuo del nivel estático.

Geohidrológicamente, las unidades constituidas por los materiales volcánicos y los basaltos fracturados, representan el acuífero de mayor interés en el área.

Geoquímicamente, el agua existente en el acuífero del cerro de la estrella, cumple con todos los parámetros permisibles de calidad del agua de acuerdo a la norma oficial mexicana **NOM-127-SSA1-1994**, con excepción del agua existente en el pozo N° 324.

Bacteriológicamente, el agua existente no presenta problema alguno. En relación a sus características hidrogeoquímicas, el agua subterránea presente en el área cerro de la estrella, se clasifica como bicarbonatada-sódica (pozos 124, 125, 126-A, 82 y 104); sulfatada, bicarbonatada, sódica, magnésica (pozos 41, 42 y 59) y bicarbonatada-sódica-magnésica (pozos 324 y 335). El agua subterránea existente se clasifica como bicarbonatada-sódica-magnésica-bicarbonatada-sódica y sulfatada-bicarbonatada-sódica; lo que indica que circula por materiales volcánicos y la presencia de minerales sulfurosos. El proyecto determina los sitios factibles para la ubicación de pozos de recarga y los piezométricos de control, en donde también determinan el procedimiento constructivo, su profundidad y el equipo necesario para su perforación.

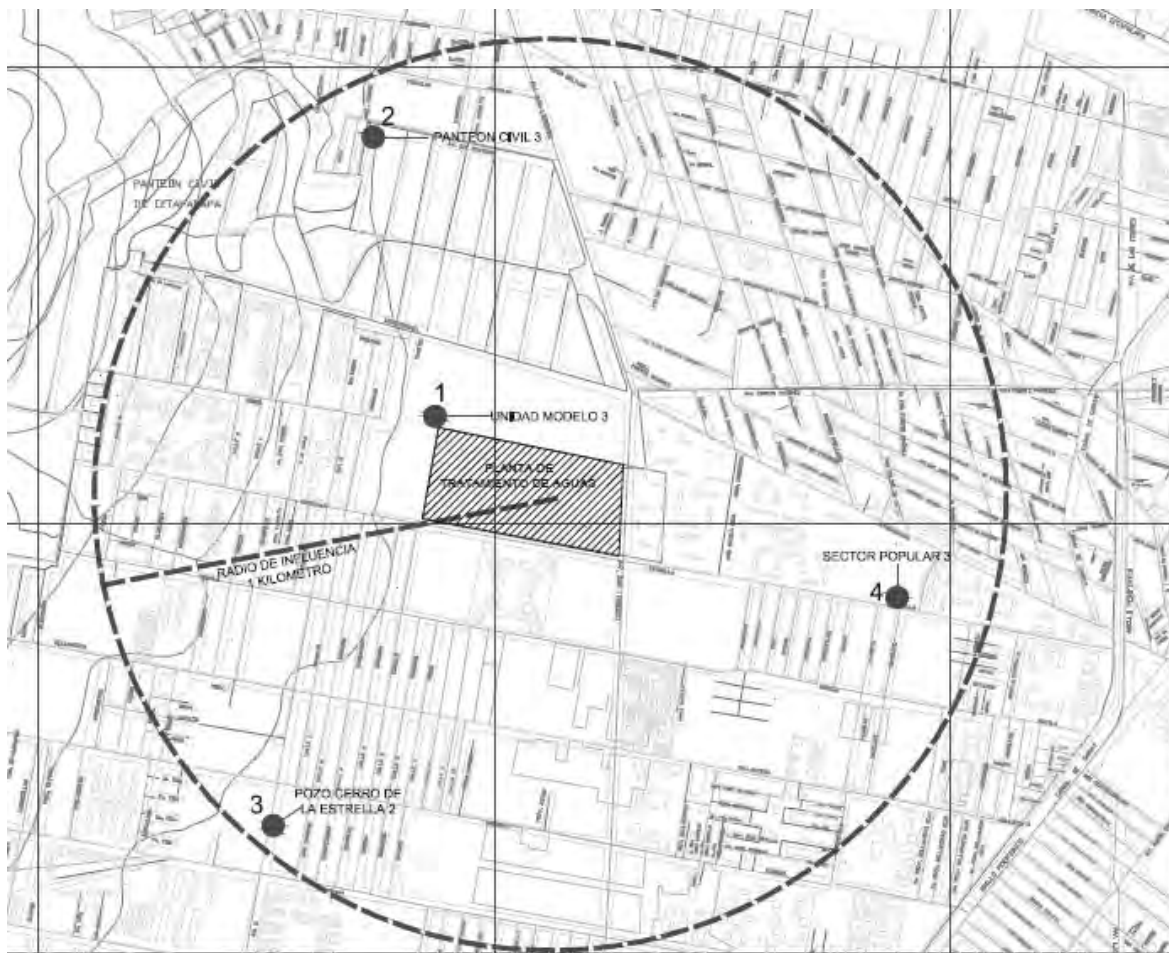


Fig. 1.4. Extracto del mapa técnico de la Comisión Hidrológica de la Cuenca de México. Cit. por Camacho, *et al.* 1997.

Se localizan los sitios apropiados para perforar los pozos, tanto de recarga como de observación. Diseñar estructuras proponiendo diámetros de ademe y profundidades, además de recomendar infraestructura apropiada si esta fuera necesaria.

Con los datos de la profundidad de los niveles estáticos y capacidades específicas, se elaboraron los planos piezométricos; también se elaboró la gráfica de comportamiento de niveles estáticos históricos, se realizaron y obtuvieron datos de análisis físico-químicos del agua de los pozos con los cuales se clasificó y se describió la calidad físico-química de la misma

Fig 1.5 MAPA DE LOS POZOS PROPUESTOS PARA LA RECARGA



1.UNIDAD Modelo 3

2.-panteon civil 3

3.-cerro de la estrella 2

4.-sector popular 3

La columna litológica que refiere esta zona (1 Km a la redonda de la planta) es de suelo orgánico, arcillas lacustres y basalto fracturado (permeabilidad secundaria). Con una calidad del agua satisfactoria. Por las características de este tipo de roca basáltica permite una infiltración alta de comparación con otras, por lo tanto esta zona se considera viable para realizar un proyecto de infiltración para un caudal de agua elevado. Para LA PLANTA DE TRATAMIENTO CERRO DE LA

ESTRELLA se proponen los siguientes procesos unitarios para mejorar el tratamiento: Implementar un tratamiento y acondicionamiento de lodos: (Concentración, Espesor de lodos, Digestión, Deshidratación y secado).

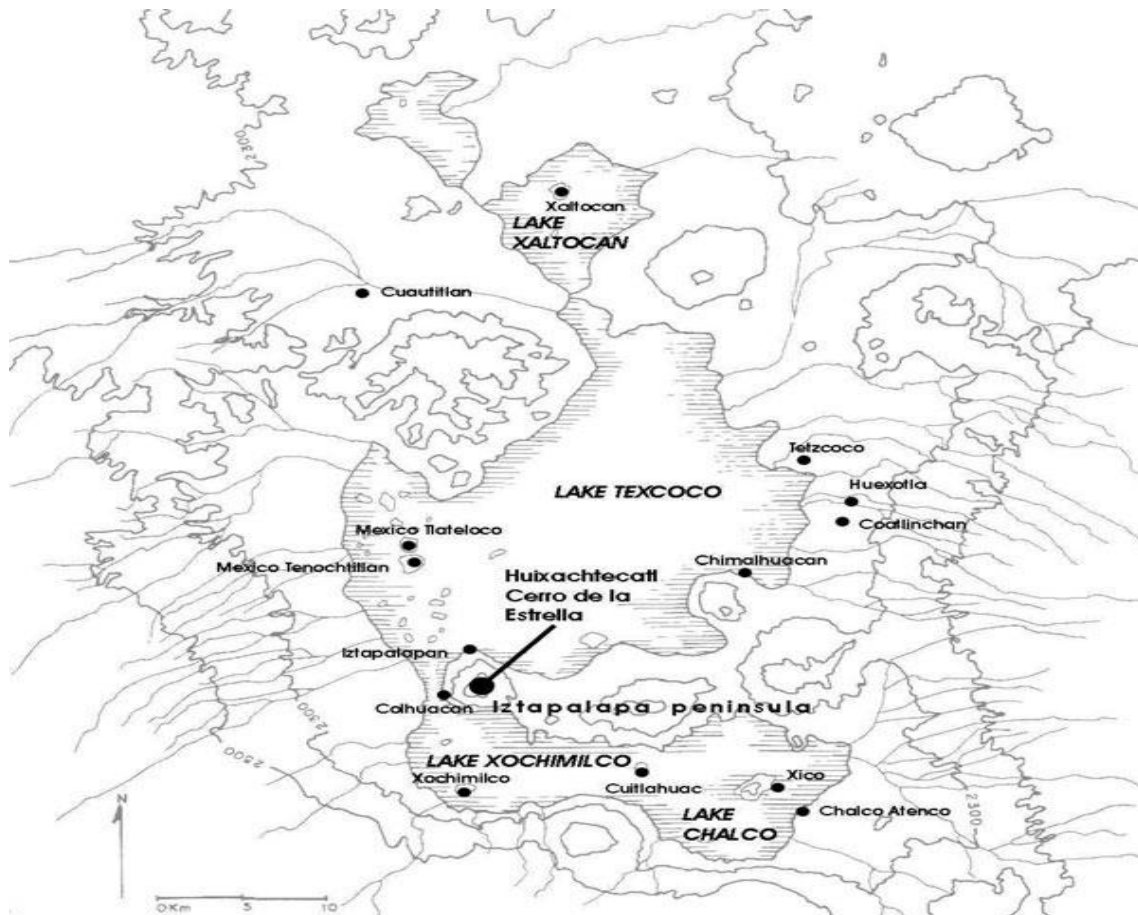


Fig. 1.6. Ubicación Geográfica Del Cerro De La Estrella Dentro Del Sistema Lacustre Del Siglo XVI (mapa basado en Niederberger 1987, *Paleopaysages Et Archeologie Pre-Urbane Du Bassin De Mexique*, CEMCA, México).

En otro estudio realizado por la Empresa Jaquez, Nicanor Ingeniería, S.C. (DIC-2007). Mencionan de igual manera otros sitios convenientes para la recarga del acuífero en donde consideran a las

regiones de Azcapotzalco, Coyoacán y Tlalpan, debido a que en estos lugares ha habido mayores abatimientos de los niveles freáticos.

Otra opción de recarga se encuentra en las faldas de la sierra de Chichinautzin con estanques de infiltración, sin embargo en esta opción la longitud de conducción de llevar el agua de recarga hasta el sitio aumentaría sustancialmente. También es posible la recarga entre la zona del aeropuerto internacional de la ciudad de México y en las faldas de la sierra de Santa Catarina.

Cerro de la Estrella

La planta de tratamiento Cerro de la Estrella, en la Delegación Iztapalapa, es la más grande de la cuenca actualmente. Inició operaciones en los años 1950, para suministrar aguas tratadas a la zona chinampera en Xochimilco, cuando los manantiales que la alimentaba se habían desecado. Da tratamiento a las aguas residuales y pluviales de las delegaciones Álvaro Obregón y Contreras, 200 lps son enviados a las zonas industriales de Iztapalapa y Zaragoza.



**Fig. 1.7. Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Cerro De La Estrella,
Delegación Iztapalapa.**

Actualmente el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la empresa “Ingeniería En Procesos De Tratamientos De Agua S.A de C.V” están preparando una estrategia probada a nivel piloto en el año de 1990, en la cual se logró inyectar 20 lps de agua tratada ($1,127 \text{ m}^3$ en total), vía el pozo Santa Catarina.

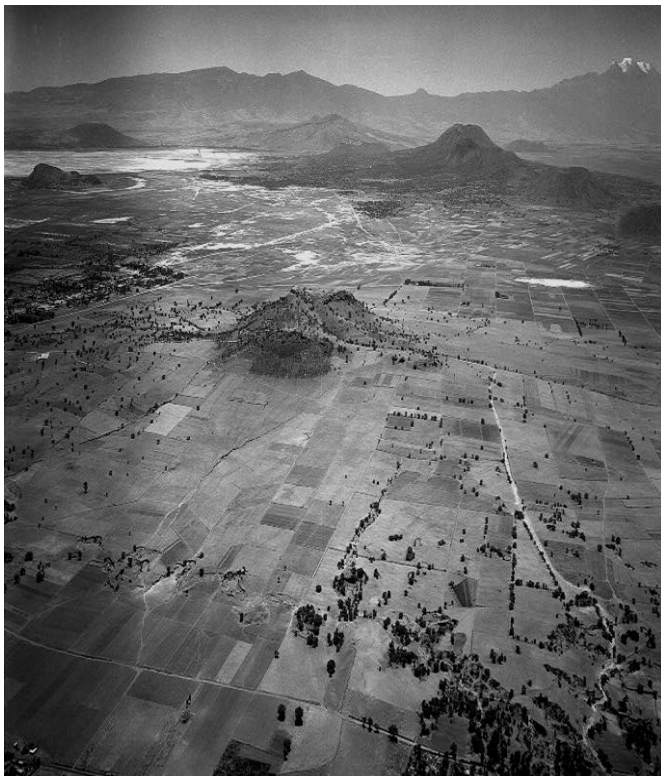


Fig 1.8 Comparación panorámica de Iztapalapa en el cerro de la estrella y la situación actual.

La fotografía muestra el hundimiento de la zona cerro de la estrella es muy claro en la foto actual como se va deteriorando la ciudad.

1.1.10. SITUACIÓN DEL SANEAMIENTO

La contaminación de los cuerpos de agua en México es uno de los problemas más importantes que enfrenta el sector hidráulico, situación que afecta negativamente a la salud pública y a los ecosistemas. Con el fin de reducir los niveles de contaminación en los ríos, lagos, lagunas, acuíferos o cualquier cuerpo receptor de aguas residuales, se ha creado un marco jurídico que se encarga de regular las descargas a través de las normas oficiales, las cuales especifican las condiciones generales y/o particulares que deben cumplir los usuarios de aguas nacionales, las NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada, y NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos, Aunado a esto se tendrá que construir progresivamente una gigantesca y menos vulnerable infraestructura tanto para traer el agua como para desalojarla; inversión y costo de operación que cada día es más alto, así como detener el crecimiento de la mancha urbana sobre las áreas de recarga, Además de garantizar el suministro futuro para la Ciudad que tendrá que recibir en los próximos 15 años un mínimo de 19 m³/s adicionales (Fernández *et al.*, 1994). Retos a los cuales se tendrá que dar solución.

De la misma forma, se han diseñado mecanismos que fomentan la rehabilitación, conservación y operación plena de las plantas de tratamiento ya construidas; así como, la instalación de éstas en municipios o industrias.

En México, el suministro de servicios de agua potable y saneamiento en áreas urbanas representa un reto estratégico por concentrar en las ciudades la mayor parte del crecimiento poblacional.

En materia de abastecimiento de agua para consumo humano y saneamiento de aguas residuales, México tiene necesidad de transitar hacia esquemas sustentables que permitan garantizar el desarrollo social y económico de su población, Las circunstancias actuales no admiten demora en la atención de esta problemática, sin duda la mejoría de estos servicios debe de acompañarse de

una promoción permanente del cuidado del buen uso del recurso hídrico, es importante señalar y proporcionar a la población agua suficiente, así como la calidad adecuada a efecto que no sea un factor detonante de problemas de salud pública

En ese contexto el tratamiento de las aguas residuales es esencial para garantizar el ciclo de agua que equivale a decir el ciclo de la vida “La probable disminución en la producción de agua de las fuentes actuales acentúa la necesidad y urgencia de implementar el programa de saneamiento y aprovechamiento de las aguas tratadas”. (17)Fuente: ***Programa de Saneamiento y Recuperación de los Acuíferos del Valle de México, CONAGUA, 2007***

Sistemas de drenajes

Un solo sistema de recolección o de drenaje funciona tanto para las áreas de servicio del Distrito Federal como para las del Estado de México en la ZMVM. Cada área de servicio tiene su propia red de drenaje; sin embargo, todos los drenajes descargan eventualmente en los interceptores generales del sistema general de drenaje, el cual conduce las aguas residuales por cuatro salidas artificiales localizadas en el extremo norte de la cuenca. En el Distrito Federal, la red del sistema abarca cerca de 10,000 kilómetros de largo, con 68 estaciones de bombeo, numerosos diques y lagunas para controlar el flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados principalmente para drenaje y 118 kilómetros de túneles. El 82 por ciento de los 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6 por ciento, aproximadamente, utiliza fosas sépticas, y alrededor del 9 por ciento no posee ningún sistema de drenaje. Sin embargo, las diferencias en el interior de las áreas de servicio son notables, y en algunas delegaciones un sistema de drenaje sirve a menos de la mitad de los residentes. (18) Fuente: ***Departamento del Distrito Federal, 1982.***

Las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, así como el agua de lluvia, se recolectan en una red secundaria consistente en un pequeño sistema de tuberías por vecindario; después, son conducidas a través de la red principal al Sistema General de Drenaje, para ser expulsadas de la cuenca hacia el norte. El Estado de México reporta que el flujo total en tiempo de seca para la ZMVM (flujo que consiste principalmente en aguas residuales municipales sin tratar) se estima en 44.4 m³/s (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). En época de lluvias, la región recibe muchas tormentas de gran intensidad y corta duración. Una sola tormenta puede producir hasta 70 milímetros de lluvia (alrededor de 3 pulgadas), lo que representa un 10 por ciento del total de la precipitación anual. Debido al patrón de lluvias y a lo irregular del terreno, el sistema

de drenaje general fue diseñado para acarrear 200 m³/s en un período de 45 horas **(19) Fuente: (Departamento del Distrito Federal, 2011).**

Plantas de tratamiento de agua residual

Existen 13 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal y 14 en el área de servicio del Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 2.62 y 1.69 m³/s, respectivamente **(21) (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento,**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal están especialmente ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características de las aguas residuales sin tratar pueden ser distintas en cada planta, dependiendo del origen del agua-por ejemplo, residual, doméstico o industrial.

Tabla 1.2. Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Distrito Federal.

PLANTA	CAPACIDAD DE DISEÑO (MCS)	CAPACIDAD DE OPERACIÓN (MCS)	PRÁCTICA TRATAMIENTO DE REUSO	
Chapultepec	0.160	0.106	Secundario	RCI, IPU
Coyoacán	0.400	0.336	Secundario	RCI, IPU
Ciudad Deportiva	0.230	0.080	Secundario	IPU
San Juan de Aragón	0.500	0.364	Secundario	RCI, IPU
Tlatelolco	0.022	0.014	Secundario	IPU
Cerro de la Estrella	3.0	1.509	Secundario	RAI, IA
Bosque de las Lomas	0.055	0.027	Secundario	IPU
Acueducto de Guadalupe	0.08	0.057	Secundario	IPU

El Rosario	0.025	0.022	Terciario	RCI, IPU
S.L Tlaxial.	0.075	0.055	Terciario	RCI, RAI
Reclusorio Sur	0.030	0.013	Secundario	RCI, IPU
Iztacalco	0.013	0.010	Terciario	RCI, IPU
Colegio Militar	0.020	0.018	Secundario	RCI, IPU
Capacidad total	4.623	2.621		

RCI: Represas de recreo con contacto esporádico; RAI: Recarga de agua subterránea por inyección; IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación Agrícola.

(20) Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.

Las 14 plantas de tratamiento ubicadas dentro del área de servicio del Estado de México. Algunas de estas plantas de tratamiento eran operadas por una industria, o bien por el municipio donde se localizan.

PLANTA	CAPACIDAD DE DISEÑO (MCS)	CAPACIDAD DE OPERACIÓN (MCS)	PRÁCTICA TRATAMIENTO DE REUSO	
Pintores	0.005	0.005	Secundario	IPU
Naucalli	0.040	0.030	Secundario	IPU
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	Secundario	RI
Nezahualcóyotl	0.200	NA	Secundario	IPU
U. de Chapingo	0.040	0.040	ND	IPU
Lago de Texcoco	1.50	1.000	Secundario	IA, L
V. de México	0.450	0.250	Termoeléctrica	RI
P. San Cristóbal	0.400	0.250	Secundario	RI
Lechería	0.030	0.010	Secundario	RI
Ford	0.030	0.030	Secundario	RI
Club de Golf Chiluca	20	20	ND	IPU
Revillagigedo Chiluca	20	20	ND	RI
La Estadía Chiluca	20	20	ND	RI
Capacidad total	2.905	1.685		

Tabla 1.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Estado de México

IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación agrícola; RI: Reutilización industrial; ND: No disponible; L: Expansión del lago.

El estudio “**Estudio para evaluar el impacto de la recarga artificial del acuífero con agua residual tratada**” de 1998 menciona que en el distrito federal se componía de 18 plantas operadas por el DGCOH, 4 concesionadas, 1 operada por la UNAM y 2 operadas por la sedeña, la capacidad instalada de estas 14 plantas era de 5754 lps mientras que su producción real era de 3837 lps, los niveles de tratamiento se componían de la siguientes forma: 34.8 % recibía un nivel secundario; el 64.53% recibía un nivel terciario y el 0.67 %..

1.1.11 Análisis de la situación en el reuso de agua residuales

Las aguas residuales representan un problema de alta contaminación y de desperdicio para México, ya que los 74 mil 700 litros por segundo de ese líquido tratado que no se reúsan(se desechan), representan anualmente ocho veces el volumen de lo que suministra el Sistema Cutzamala, de la Ciudad de México, o dos veces el consumo total de agua del Distrito Federal. Esto indica una iniciativa sobre la materia que se presentó recientemente ante la CONAGUA. Se acentuó que las aguas residuales presentan a nivel nacional, una contaminación de descarga de 332 metros cúbicos por segundo de aguas negras, pero también un desperdicio de 74.7 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, tratadas, que se descargan sin reusar, con un valor fiscal de 6 mil 560 millones de pesos.

No contar con esquemas legales que fomenten el reúso de las aguas residuales tratadas, e inhiban su descarga a cuerpos receptores nacionales, sin previa reutilización, hace obligatorio el reúso de las aguas residuales, se añade en la propuesta legislativa.

Además en la iniciativa se señala que el mayor reúso de aguas a nivel nacional es en las denominadas aguas negras, sin tratamiento, mientras que las residuales tratadas se descargan sin reúso; por lo que legislar la obligatoriedad del reúso de aguas residuales producirá tanto beneficios económicos como ambientales y de salubridad a la población en forma inmediata, así como a los sectores productivos, como en la agricultura y la industria.

También se podrá reducir la presión de explotación de los acuíferos, a que las plantas de tratamiento de aguas residuales ya no sean vistas sólo con la perspectiva de contaminación, sino como infraestructuras estratégicas para aumentar la disponibilidad de agua en las cuencas y con ello, evitar el desperdicio actual.

La tecnología desarrollada para el tratamiento de aguas residuales de todo tipo es sumamente variada y puede integrarse un tren de tratamiento para lograr calidades de aguas específicas que sean técnicamente factibles. Sin embargo, la disponibilidad del recurso agua en la mayoría de los casos, hace que el costo de este insumo sea bajo o incluso, por consideraciones sociales y políticas, subsidiado.

En esta situación el tratamiento de aguas residuales con fines de reúso estará limitado en su factibilidad económica al no lograr producir una agua tratada con costos competitivos, capaz de motivar al usuario para que opte por un insumo con calidad inferior al agua de primer uso.

Como se mencionó la ZMVM, por los volúmenes de agua que maneja, por su influencia en cuencas vecinas y por los efectos negativos que provoca debe abordar el problema del manejo del recurso de una manera más sustentable. Esta necesidad ya se torna urgente, ante la perspectiva de la integración de la megalópolis del centro de México (Toluca, Cuernavaca y Pachuca y a más largo plazo Querétaro y Puebla (Garza, 1987).

Es necesario abordar el problema de la escasez del agua y del rezago en la infraestructura de saneamiento con nuevos enfoques. El manejo sustentable del agua requiere soluciones integrales en muchos casos descentralizados, en donde se vea el agua como un recurso de múltiples usos escalonados. Existen las opciones tecnológicas para producir aguas tratadas para diversos reúsos.

El reúso del agua residual tratada es actualmente un recurso valioso y su demanda aumentara en la medida que decrezca la disponibilidad y se incremente la necesidad de agua de primer uso. Por lo tanto el generar agua residual tratada tiene un costo, que involucra su tratamiento y su conducción al sitio de reúso.

En los países industrializados se han manifestado de una manera más temprana los problemas de escases del agua, de su contaminación y de sus impactos ambientales generados por su uso inadecuado, razones por las cuales se han generado y desarrollado programas para su conservación, control y uso más eficiente.

En México, principalmente en las grandes ciudades y en las zonas con mayores requerimientos de agua ya se ha presentado la misma situación. Sin embargo, en todo el país tarde o temprano

deberán de incrementarse y de tomar más peso los programas de uso eficiente y racional del recurso hídrico, los de su conservación y los de reúso.

Por estas razones los costos del agua residual tratada deben de compararse con los costos reales de producción de agua potable. Adicionalmente, a los costos del agua para reúso se le deben de agregar los costos de los beneficios obtenidos por ahorros logrados al disminuir problemas de salud pública y de protección al ambiente; por la atenuación del impacto, por cambios de estilo de vida, problemas sociales para la obtención de agua, reducción de la explotación de aguas subterráneas y superficiales y de sus consecuencias ambientales; disminución de gastos en la recuperación de suelos salinizados, y en general por reducir la tasa de agua de consumo de agua limpia disponible. En términos prácticos son difíciles cuantificar los beneficios y los costos de estos conceptos, el reúso debe incluir los costos de pos tratamiento de acuerdo con los requerimientos técnicos y normativos para cada tipo específico y los de conducción del agua tratada hasta el sitio de reúso.



Capítulo II TREN DE PROCESO



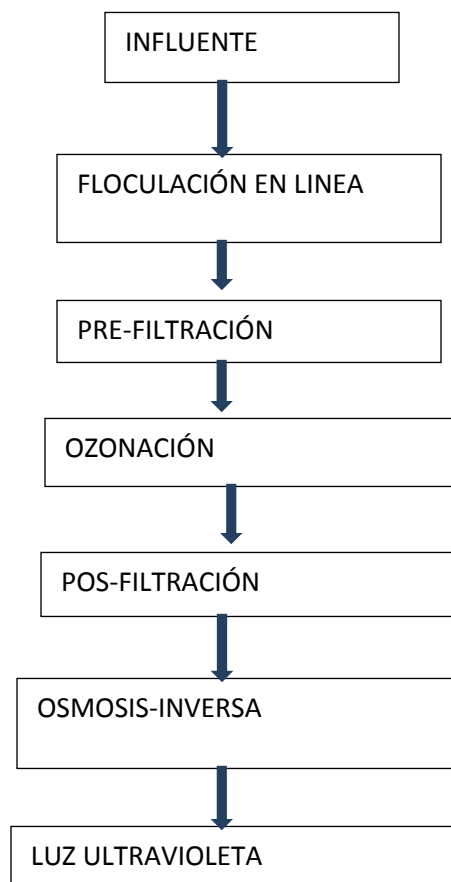
2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA CALIDAD DEL AGUA

El tren de proceso cumple con los tratamientos sugeridos por las normas referentes a los requisitos para la recarga artificial del acuíferos, a la calidad de agua para uso y consumo humano.

- NOM-014-CONAGUA-2003
- NOM-127-SSA1S1994 (MODIFICADA EN 2000)

Así se llega al siguiente tren de tratamiento:

FIGURA 2.1 TREN DE PROCESO





2.1 Tren de Proceso – Filtración a Presión

Es un proceso fisicoquímico para la separación de sólidos suspendidos y la materia coloidal de la fase líquida, mediante un material poroso. La filtración consiste en hacer pasar un líquido y un sólido a través de un material poroso para lo cual solo pasa el líquido.

2.1.2 Tren de Proceso – Oxidación con ozono

El objetivo de este tren proceso en la planta es remover color y disminuir la demanda química de oxígeno, la oxidación es atribuida a los radicales OH que se forman cuando el ozono se cambia en el agua. La demanda química de oxígeno es transformada por los mismos radicales OH hasta CO_2 . La remoción de color es atribuida a oxidación de la materia orgánica que está contenida en el agua, esto puede ser muy complejo sin embargo los radicales OH tienen la capacidad de precipitar dicha materia.

2.1.3 Tren de Proceso – Filtración

La filtración consiste en hacer pasar una mezcla de sólido y líquido a través de un medio poroso donde se retienen los sólidos y deja pasar los líquidos. El agua se hace pasar a través de un medio filtrante de zeolita con flujo descendente.

2.1.4 Filtros Cartucho

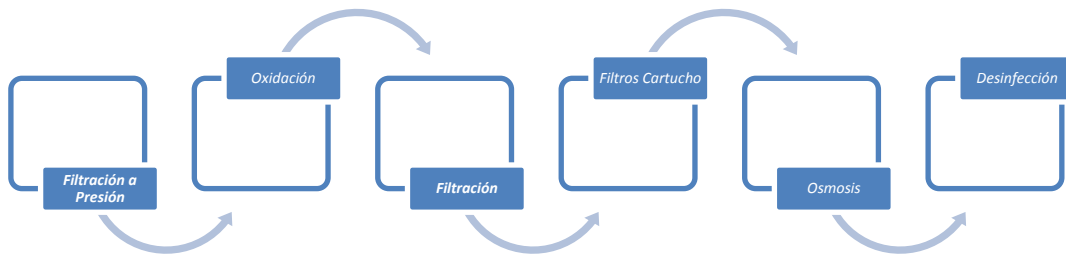
La filtración por filtros cartucho consiste en hacer circular, mediante presión, un fluido interior de un porta cartuchos en el que se encuentran alojados los cartuchos filtrantes. El fluido atraviesa el cartucho filtrante dejando en éste retenidos todos los contaminantes seleccionados.

2.1.5 Tren de Proceso – Ósmosis Inversa

La filtración por membranas tiene la finalidad de remover los sólidos disueltos totales y de disminuir la conductividad de las sales disueltas en el agua. El funcionamiento de este sistema consiste en forzar a pasar un solvente a través de una membrana semipermeable separando una solución de mayor concentración a una solución de menor concentración.

2.1.6 Procesos – Desinfección Luz Ultravioleta

La desinfección de agua por radiación ultravioleta (U.V) constituye una de las franjas del espectro electromagnético y posee mayor energía que la luz visible. La irradiación de los gérmenes presentes en el agua con rayos U.V. provoca daños en los bloques de construcción del DNA y RNA lo que impide su división celular, eliminando así el riesgo de enfermedad. La onda germicida de la luz ultravioleta es de 253.7 nanómetros.



2.2 LA PLANTA PILOTO

Equipo de la planta piloto.

1. Equipo de proceso
2. Equipo de medición
3. Válvulas

El equipo de proceso identifica todas aquellas estructuras donde ocurren los procesos unitarios; el equipo de medición se refiere a todos aquellos equipos cuyas lecturas ayudan a la toma de decisiones para el control del proceso y las válvulas son los equipos que controlan los flujos.

2.2 1 Equipo de Proceso

2.2.1 Mezclador estático

Los mezcladores estáticos son utilizados para llevar a cabo la homogenización de diversas sustancias en diferentes fases. Cuentan con una serie de módulos internos de acuerdo a las necesidades de mezclado. Los módulos internos proporcionan la división y deflexión de las sustancias a lo largo del mezclador generando las condiciones de mezclado deseadas.

El mezclador estático se aplica en procesos continuos, donde el mezclado se consigue de forma rápida. Estos procesos requieren un tiempo de residencia uniforme y una íntima dispersión y

contacto de dos o más sustancias involucradas. Lo único que se mueve en el interior de un mezclador estático son las sustancias que deben mezclarse, dispersarse o que deben reaccionar una con la otra. Entre las diferentes aplicaciones de los mezcladores estáticos se encuentra, la dosificación de químicos para los procesos de coagulación-floculación, y oxidación en línea.



.Fig.2.1 Mezclador Estático

El fluido se mueve a través del mezclador estático en línea, creando un flujo continuo y homogéneo con baja caída de presión.



Fig 2.2 Mezclador Estático

El funcionamiento es el siguiente:

- 1) La bomba empuja el líquido dentro del mezclador.
- 2) El flujo es cortado y forzado a dirigirse contra las paredes opuestas de la tubería.
- 3) El vórtice es creado axialmente en la línea central de la tubería.
- 4) El vórtice es cortado de nuevo y el proceso ocurre pero en rotación contraria.

Estos cambios de rotación aseguran un producto final homogéneo.

2.2.1 Hidrociclón

Son aparatos que pueden hacer las funciones de pre-filtro, cuando el agua está fundamentalmente contaminada por partículas sólidas. Gracias a un flujo vertical se consigue separar hasta el 98% de las partículas mayores de 100 micras, más pesadas que el agua.



Fig 2.3 Hidrociclón

Los hidrociclones tienen como objetivo separar las partículas sedimentables generadas. Estos equipos realizan el trabajo de un sedimentador – desarenador, pues remueven gran parte de los flóculos y evitan que estos lleguen a su vez a los filtros de alta presión y equipos subsecuentes, prologando de esta manera las carreras o productividad de dichos equipos. Por su tamaño compacto, son muy convenientes para ser usados en plantas de tratamiento o potabilización con limitaciones de espacio y donde se requieran eficiencias altas para la remoción de partículas indeseables para otras etapas del proceso.

Pre-filtración

La filtración es un proceso de separación sólido líquido en la cual una mezcla se hace pasar por un medio filtrante, las partículas que tengan un tamaño mayor al tamaño establecido serán retenidas por el medio filtrante, mientras que la fase líquida y las partículas de menor tamaño lo atravesarán.

Es común que la filtración ocurra en varias etapas, esto para hacer una disminución del tamaño de partícula que pasa por el medio filtrante.

En el proceso de potabilización de la planta piloto, a la primera etapa de filtración se le denomina pre-filtración.

La pre-filtración opera con dos filtros duales, los medios filtrantes en la etapa están constituidos por un lecho mixto de arena y zeolita.

Fig 2.4 pre-filtro



Ozonación

La técnica de ozonización se utiliza en la potabilización de agua pues con la adición de ozono se oxidan las sustancias orgánicas y se inactivan los pesticidas y organismos patógenos.

Un sistema de ozonización del agua comprende fundamentalmente de dos equipos: generador de ozono (ozonizador) y tanque de contacto del ozono con el agua (contacto).

El contacto del agua con el ozono el cual es inyectado por burbujeo se realiza en un tanque en el que se insufla el aire ozonizado.

Debido a que el ozono es una molécula muy inestable, debe generarse en sitio en la propia planta de tratamiento de agua, ya que se descompone rápidamente, volviendo a originar la molécula diatómica de oxígeno.

La planta cuenta con su generador de ozono

Fig 2.5 Ozonación





Fig 2.6 generador de ozono



Fig 2.7 generador de ozono

Post-filtración

Se denomina pos-filtración a la etapa de filtración que se efectúa después de la ozonación. El equipo utilizado en esta fase está constituido por tres tanques cuyo medio filtrante es arena y zeolita, físicamente estos se encuentran detrás del equipo del hidrociclón y los tanques de pre-filtración.

Fig 2.8 post-filtración



Filtros porta-cartuchos

Previo al paso del sistema de osmosis inversa, el agua pasa por un proceso de pulimiento por medio del equipo de filtración con cartuchos; cada filtro lleva ocho cartuchos.

Este equipo se compone de los filtros cartucho y los cartuchos. Los filtros cartucho son los envases en los que se depositan los medios filtrantes, estos últimos son los cartuchos.

Osmosis inversa

La ósmosis inversa utiliza una membrana semi-permeable para remover las sales disueltas contenidas en agua cruda. La teoría de operación de este proceso se basa en la aplicación de presión a un sistema de sales disueltas, el soluto (agua) pasa a través de la membrana más fácil y rápidamente que las sales disueltas. El agua permeada es altamente pura y está prácticamente libre de materia orgánica, viral y bacterial. Estas características hacen que este proceso sea adecuado para potabilizar el agua

Fig 2.9 Osmosis Inversa



La osmosis inversa es un proceso físico de separación en el cual se hace pasar una mezcla fluida a través de una membrana semipermeable. El tamaño de poro de la membrana oscila en $5 \cdot 10^{-5}$ y $2 \cdot 10^{-5}$ micrómetros; para que puedan separarse las partículas de este tamaño se aplica presión sobre la parte de saturada del sistema.

El equipo tiene 6 housing para la primera etapa y 4 housing para la segunda etapa. Cada housing tiene seis membranas.

Desinfección con luz ultravioleta

El equipo de desinfección con luz ultravioleta está compuesto por un panel con 4 módulos con 16 lámparas UV cada módulo. Del total de 64 lámparas sólo operan 48.

Fig 2.10 Desinfección Ultravioleta



Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente. Esta técnica se consideró para la desinfección del agua de bebida cuando se comprobó que el cuarzo era uno de los pocos materiales casi totalmente transparente a la radiación ultravioleta, lo que permitió la envoltura protectora de los tubos. Los primeros intentos experimentales se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910. Entre 1916 y 1926, se usó UV en los Estados Unidos para la desinfección del agua y para proveer agua potable a los barcos. Sin embargo, la popularidad del cloro y sus derivados, asociados a su bajo costo de aplicación, hicieron que se retardara la producción de equipos hasta la década de 1950 y más aún hasta la de 1970 en que las lámparas comienzan a ser confiables y de vida prolongada.

La aparición de los subproductos de la desinfección (SPD), sobre todo aquellos asociados a la desinfección con cloro, hicieron que numerosos sistemas pasaran de éste a la UV. Al comienzo del siglo XXI, en Europa existen unos 2,000 sistemas de aguas desinfectados con UV, y una planta en Alemania (Wahnachtalsperrenverband), trata un caudal de 329,000 m³/día.

La gran ventaja en relación con los SPD se contrabalancea con su notoria desventaja: la radiación UV no otorga ningún residual al agua tratada para hacer frente a eventuales futuras contaminaciones en las redes de distribución o en las viviendas.



La radiación ultravioleta se caracteriza por longitudes de onda muy cercanas a las de la luz del sol. Los parámetros más importantes de la radiación UV relacionados con la desinfección del agua son:

- Longitud de onda: El rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm. (nanómetros) y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm. Estos límites se encuentran dentro del rango denominado ultravioleta - C (100-280 nm.), que se diferencia del ultravioleta - A (315-400 nm.) y del ultravioleta - B (280-315 nm.).
- Calidad del agua: La temperatura del agua tiene poca o ninguna influencia en la eficacia de la desinfección con luz ultravioleta, pero afecta el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta, cuando la misma está inmersa en el agua. La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. En el agua para consumo humano la concentración de los sólidos en suspensión es generalmente inferior a 10 ppm, nivel al que empieza a experimentar problemas con la absorción de la luz ultravioleta. La turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de 5 UTN (Unidades de turbiedad nefelométricas).
- Intensidad de la radiación: A menor distancia del agua respecto al punto de emisión de los rayos, mayor será la intensidad de los mismos y por tanto la desinfección será más eficiente. Con respecto a esta condición, existe una regla general que dice que no debe haber más de 75 mm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de la misma sea alcanzada por los rayos adecuadamente.
- Tipo de microorganismos: La radiación ultravioleta se mide en micro-vatios por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) y la dosis en micro-vatios segundo por centímetro cuadrado ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$) (radiación x tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes (coliformes, pseudomonas, etc.) varía entre 6.000 y 10.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$. Las normas para la dosificación de luz ultravioleta en diferentes países varían entre 16.000 y 38.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$.
- Tiempo de exposición: Como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. No es fácil determinar con exactitud el tiempo de contacto (ya que éste depende del tipo de flujo y de las



características del equipo), pero el período debería estar relacionado con la dosificación necesaria. De cualquier modo, las exposiciones normales son del orden de 10 a 20 segundos.

Para un grado determinado de inactivación de microorganismos, el tiempo requerido de exposición del agua a la luz ultravioleta es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que penetra el agua, teniendo en cuenta la capacidad de absorción del agua y la dispersión de la luz debido a la distancia.

El método de desinfección es sencillo, consiste en poner en contacto el flujo de agua con una lámpara ultravioleta, de tal manera que la radiación UV actúe sobre los microorganismos del agua bajo las condiciones arriba expuestas con el consecuente efecto desinfectante.

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada .

La eficiencia de un sistema UV para eliminar la contaminación biológica es directamente dependiente de las calidades físicas del influente de agua.

- Sólidos suspendidos o partículas ocasionan un problema de blindaje en que un microbio puede pasar al través del esterilizador sin realmente tener la penetración UV directa. Este blindaje puede ser reducido por la filtración mecánica a por lo menos cinco micras en el tamaño.
- Hierro y manganeso en niveles 0.03 ppm de hierro y 0.05 ppm de manganeso ocasionarán manchado sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. Un apropiado pre-tratamiento se requiere para eliminar este problema de manchado.
- Calcio y magnesio (Dureza) permitirá formación de incrustaciones sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. Este problema especialmente se magnificará cuando el flujo es bajo (o ninguno) los iones de magnesio y calcio se unen con carbonatos y sulfatos para



formar acumulación progresiva de incrustaciones dentro de la cámara de esterilizador y sobre la lámpara o cartucho.

- Otros compuestos absorbentes tales como ácido húmico y fúmico, así como también los taninos reducirán la cantidad de energía UV disponible para penetrar el agua y afectar el material genético DNA, de la célula.

La temperatura es un factor determinante. La temperatura óptima de la lámpara UV debe estar cerca de 40° C (104°F). Los niveles de UV fluctuarán con niveles de temperatura excesivamente bajos o altos. Un cartucho de cuarzo se utiliza para mediar el contacto agua/lámpara, reduciendo fluctuación de temperatura. Un método típico empleado en un sistema sin cartucho de cuarzo, es restringirlo considerando estas fluctuaciones.

2.2.2 DESCRIPCIÓN OPERATIVA

El agua (influyente) que ingresa a la Planta Piloto es el efluente del tratamiento biológico de aguas residuales nivel secundario línea Zaragoza proveniente de la Planta Cerro de la Estrella, la cual debe de fluctuar con una presión de 2.0 a 2.5 kg/cm².

El agua ingresa a la Planta Piloto con una presión de 1 kg/cm², dado esto el agua pasa por el mezclador estático en donde a su vez es inyectado el floculante (Sulfato de Aluminio, el aluminio precipita arrastrando las partículas en suspensión, dejando el agua transparente) y el polímero (Superfloc A-130 KEMIRA), el floculador se encuentra en un tanque de almacenamiento que cuenta con agitación y es bombeado con una bomba dosificadora.

Después de homogenizar la mezcla (proceso de mezclador estático) el agua se envía al hidrociclón donde son separados gran parte de flóculos y evitan que estos lleguen a los filtros de alta presión, el diseño de este equipo hace que el agua ingrese tangencialmente a la parte cilíndrica bajo una cierta presión y velocidad, lo que genera una rotación alrededor del eje longitudinal del hidrociclón, formando un torbellino descendente hacia el vértice de la parte cónica. Las partículas más gruesas debido a la aceleración centrífuga giran cercanas a la pared, siendo evacuadas a través de la boquilla en forma de pulpa



espesa. Debido a las reducidas dimensiones de ésta, solo se evacua una parte de la suspensión, creándose en el vértice del cono un segundo torbellino de trayectoria ascendente, el cual transporta partículas finas junto con la mayor parte del líquido, abandonando el hidrociclón a través de un tubo central situado en la tapa superior del cuerpo cilíndrico.

El agua floculada, es dirigida a una pre-filtración a los filtros duales para la separación de sólidos suspendidos y materia coloidal de la fase líquida, mediante un material poroso. Posteriormente el agua se dirige al tanque de ozonación, el sistema de ozonización del agua comprende de dos procesos: el generador de ozono y el tanque de contacto del ozono con agua, así el proceso de ozonación sigue dos etapas, la primera es suministrar el ozono en una mezcla con aire, dispersados de tal manera que el área de contacto con el agua donde se inyecta sea lo máximo posible. La segunda etapa del proceso se lleva a cabo cuando el ozono oxida a los compuestos orgánicos e inorgánicos del agua.

Una vez realizado el proceso de ozonación el agua es enviada por medio de la bomba de transferencia a tres torres de pos-filtración para retener sólidos a través de un medio filtrante de zeolita con flujo descendente, posteriormente el agua es enviada a los filtros cartucho que en su interior contienen alojados cartuchos filtrantes donde el agua circula bajo una presión de 4 a 5 kg/cm², quedando retenidos todos los contaminantes.

El agua entra al proceso de osmosis inversa mediante la bomba de alta presión, el agua es transportada por una tubería de 4" llegando a una expansión campana de 6" y finalmente introducida a los tubos de alta presión por una tubería de 1". El proceso de osmosis cuenta con 10 tubos de alta presión divididos en 2 etapas, con un arreglo de 6 tubos de alta presión para la primera etapa y 4 para la segunda etapa, en ellas se remueven sales disueltas, el agua permeada es altamente pura y prácticamente libre de materia orgánica.

2.2.3 Proceso del tratamiento de agua de la Planta piloto

El agua que alimenta a la Planta Piloto, es el efluente del tratamiento biológico de aguas residuales nivel secundario de la Planta de Cerro de la Estrella. Para llevar a cabo el tren de procesos se realizan los siguientes pasos:

1.- Se abre la válvula de ingreso de agua a la Planta de Tratamiento de Agua Residual que nos proporciona un flujo de 20 lps., así también se enciende el compresor de aire, el secador de aire y el generador de ozono.

a) En la pantalla digital Fig. 2 presionar solo el botón de aire, en este punto se observa que el rotámetro de aire marca un nivel de 20 a 25 m³/hr.

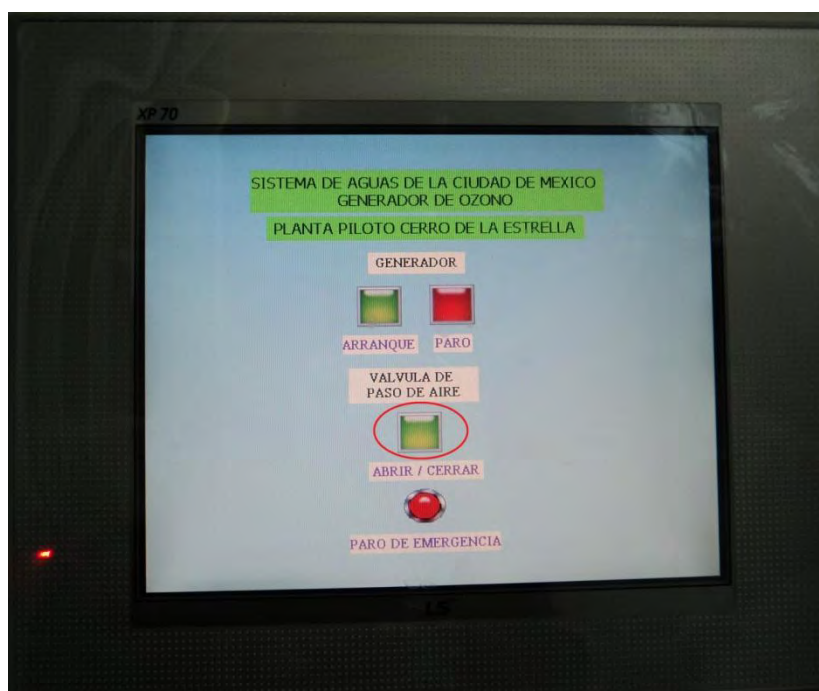


Fig. 2.11 Pantalla digital.

b) abrir la válvula de la tubería como se indica en la Fig. 3 que dará flujo de agua de enfriamiento al reactor generador de ozono.



Fig. 2.12 Válvula para agua de enfriamiento del generador de ozono

- a) Se observará una presión de aire dada por un manómetro en bares Fig. 4, el valor mínimo será de 1 bar. También hay un manómetro que debe de marcar 0.5 kg/cm^2

b) Fig. 2.13 Manómetro para el generador de ozono



- b) El equipo estará listo para generar ozono, cuando el aire esté libre de humedad. Esta estabilización lleva un tiempo mínimo de 30 min.

5.- Se encienden los variadores de frecuencia de la bomba de transferencia del agua del tanque de ozonación y de la bomba de alta presión Fig. 5 del proceso de osmosis inversa.



Fig. 2.14 Bomba de Alta Presión

- a) La bomba de transferencia Fig. 6 debe de estar en STAND BY a 48 Hz y la bomba de alta presión también debe de estar en STAND BY a 45 Hz.

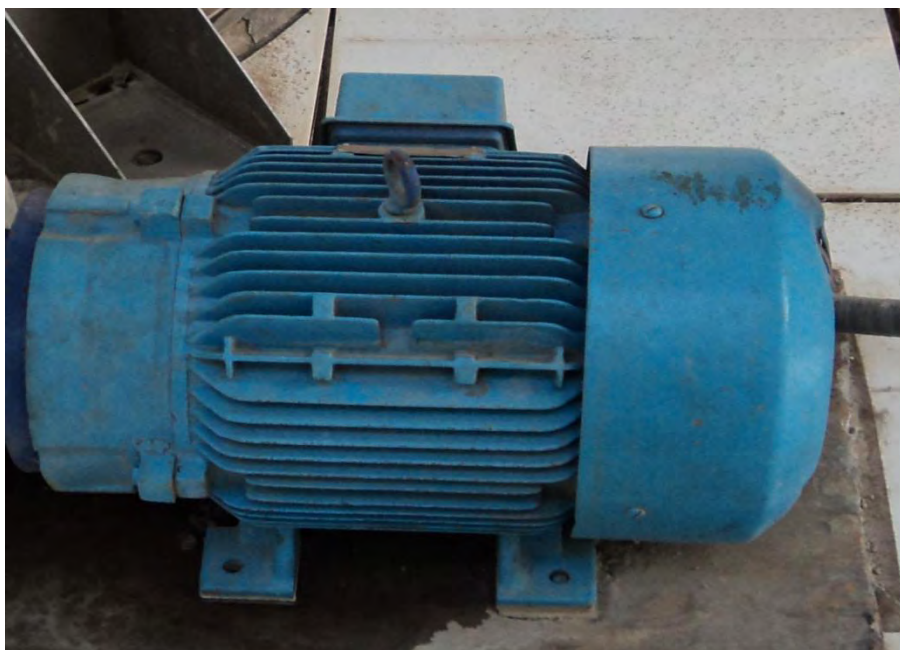


Fig. 2.15 Bomba de Transferencia

6.- El flujo de agua llega al mezclador estático el cual tiene por objetivo homogenizar el agua con el floculante. Cuenta con una serie de módulos internos de acuerdo a las necesidades del mezclado. Los módulos internos proporcionan la división y deflexión a lo largo del mezclador generando las condiciones de mezclado deseadas (3). La alimentación del flujo de agua inicialmente está dada por un manómetro a la entrada del mezclador estático Fig. 7, el cual también tiene un manómetro de presión a la salida del mismo.

Fig. 2.16 Mezclador Estático



7.- El flujo de agua llega al hidrociclón Fig. 8, este tiene como objetivo separar las partículas sedimentables provenientes del mezclador estático por la adición de floculante, evitando que gran parte de estas lleguen a los filtros de alta presión y equipos subsecuentes.



El agua de alimentación entra tangencialmente a la parte cilíndrica bajo una cierta presión y velocidad, lo que genera su rotación alrededor del eje longitudinal del hidrociclón, formando un torbellino descendente hacia el vértice de la parte cónica. Las partículas más gruesas debido a la aceleración centrífuga giran cercanas a la pared, siendo evacuadas a través de la boquilla en forma de pulpa espesa. Debido a las reducidas dimensiones de está, solamente se evacua una parte de la suspensión, creándose en el vértice del cono un segundo torbellino de trayectoria ascendente, el cual transporta las partículas finas junto con la mayor parte del líquido, abandonando el hidrociclón a través de un tubo central situado en la tapa superior del cuerpo cilíndrico.

Posteriormente se pasa al proceso de pre – filtración Fig. 9, una vez que el agua llegue a su nivel máximo, se establece la dosificación. La oxidación y coagulación tienen como finalidad transformar los compuestos disueltos en solubles para poder precipitarlos. La floculación se lleva a cabo mediante la adición de compuestos y estos se agrupan de manera que forman coagulo y un floculo el cual precipita por tener un peso especifico mayor al agua.

**Fig.2.17. Hidrociclón****Fig. 2.18. Filtros**

El agua proveniente del proceso de pre – filtración llega al tanque de Ozonación, el proceso de oxidación con ozono remueve color y la demanda química de oxígeno disminuye. En esta parte se realiza el contacto entre el ozono y el agua a través de un tanque de contacto Fig. 10 y Fig. 11.



Fig. 2.19 Tanque de Ozonación visto desde fuera.



Fig. 2.20 Tanque de Ozonación visto por dentro.

9.- Una vez que el tanque de ozonación tenga un nivel adecuado de agua que ya debe estar aireada, en la pantalla digital del generador de ozono presionar el botón para generar ozono Fig. 11.



Fig. 2.21 Pantalla Digital para Generar Ozono.

10.- Abrir las válvulas del filtro porta cartucho para entrar en marcha. Fig. 2.23.



Fig. 2.22 Válvulas del filtro porta cartucho.

11.- Se pone en funcionamiento el variador de frecuencia de la bomba de transferencia del tanque de Ozonación a 48 Hz. Fig. 14.

Nota: Purgar el filtro porta cartucho y purgar el proceso de Osmosis Inversa.



Fig. 2.23 Variador de Frecuencia a 48 Hz.

12.- Purgado el filtro porta cartucho y el proceso de Osmosis Inversa, hacer funcionar el variador de frecuencia de la bomba de alta presión a 45 Hz. Fig. 15.



Fig. 2.24 Variador de Frecuencia a 45 Hz.

13.- En este momento comienza el proceso de Osmosis Inversa. Fig.2.25.



Fig. 2.25 Válvula de Purga de Osmosis Inversa.

14.- Encender el equipo de Luz Ultravioleta. Fig. 2.26.



Fig. 2.26 Tablero de Control de Luz Ultravioleta.

15.- Encender el equipo de carbono orgánico total. Fig. 2.27.



Fig. 2.27 Medidor de COT en línea

16.- Gradualmente incrementar la frecuencia de los variadores de la bomba de transferencia y de la bomba de alta presión.

17.- El efluente así generado puede seguir dos caminos:

a) I LAGO Fig. 2.29.



Fig. 2.28 Estanque de Bioensayo.

a) Ir al lago que tiene un perímetro de 171 mts.



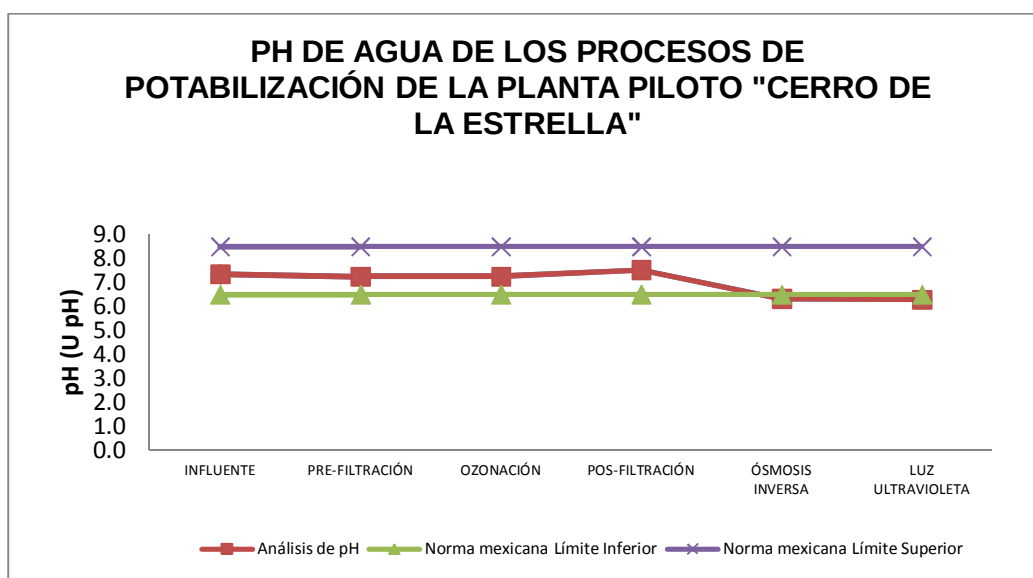
Fig. 1 Lago



CAPITULO III CALIDAD DEL AGUA DEL PROCESO

CALIDAD DEL AGUA DEL TREN DE PROCESO

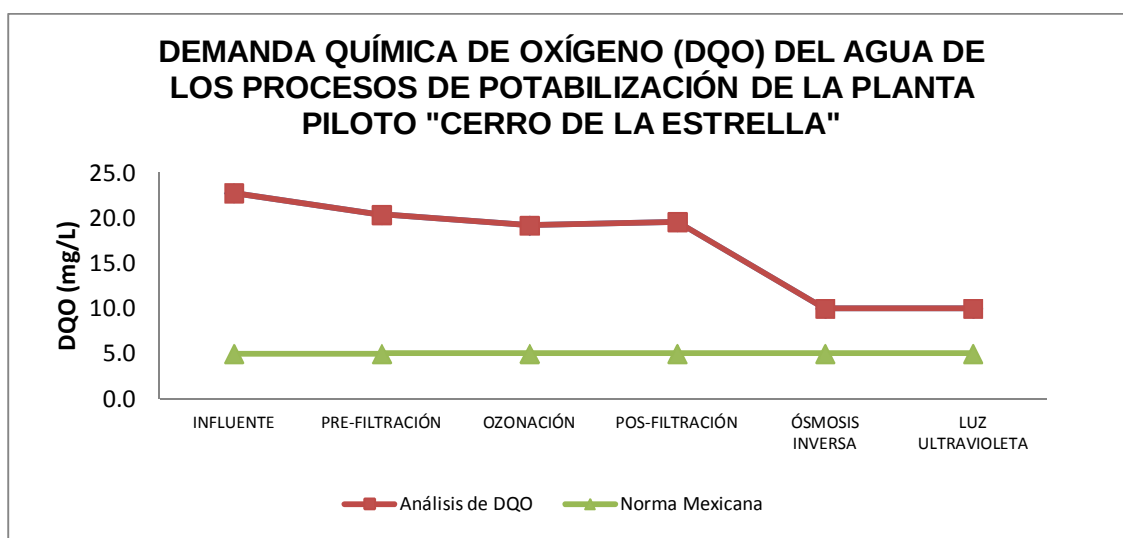
pH. Los valores que debe tener el agua de pH según la norma (NOM-127-SSA1-1994) es 6.5-8.5, el agua que produce la Planta Piloto se encuentra fluctuando en valores por encima de 6, la revisión de análisis toxicológico que se llevo a cabo para esta planta (bioensayos con el organismo (*Daphnia magna*) mostraron que no hay toxicidad presente en las muestras de agua del efluente de esta, al revisar bibliografía con respecto a daños que puede ocasionar un pH bajo a las personas que la consumen se encontró que un pH ácido por debajo de 4 puede originar irritación gastro intestinal; y por arriba de 10 de igual forma no se encontró problema alguno con respecto al pH que tiene el efluente de la planta piloto; sin embargo, se ha encontrado que los valores de pH de 7 o por debajo de la neutralidad, el ion amonio se encuentra en equilibrio con el amoniaco y los iones de H^+ facilitando su intercambio (López M. et al ,2002),), lo cual nos indica que el pH aunque se encuentra fuera de la norma no presenta problema alguno para la recarga del acuífero o al consumo y uso humano.



TURBIEDAD: La turbiedad impide la correcta desinfección del agua, así como el transporte de metales pesados, organoclorados u otras sustancias se unen a los ácidos húmicos y otras sustancias orgánicas. . Para disminuir los riesgos, el valor se debe mantener por debajo de la norma (NOM-127-SSA1-1994), como se puede apreciar en la gráfica. La turbidez es uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad

del agua potable. A las empresas que suministran agua a la población se les exige tratarla para eliminar la turbidez.

La Organización Mundial de la Salud indica un valor de referencia de turbidez de 5 FTU (UTN) (Unidades de turbiedad nefelometricas) para el agua potable. Este valor ha sido establecido basándose en las características estéticas del agua. Desde un punto de vista higiénico, el valor recomendado es de 1 FTU (UTN). La turbidez es un indicador y no ofrecerá resultados sobre un contaminante específico. Sin embargo, informará del grado total de contaminación. Con respecto a lo que se observa en la gráfica el valor que presenta el efluente en el valor de turbidez es < 1 UTN; por lo tanto, al encontrarse por debajo de la norma mexicana, así como lo establecido por la OMS, se puede decir que para este parámetro el agua cumple para la recarga del acuífero.



CONDUCTIVIDAD ELECTRICA: La conductividad indica la presencia de iones, estos pueden ser de sales o metales pesados como el fierro y el manganeso. Al disminuir la conductividad se reduce la cantidad de iones. Los objetivos de calidad del agua se incluyen en el plan hidrológico correspondiente. En algunos casos no hay objetivos para conductividad, pero si hay para el total de sólidos disueltos (TDS). El comportamiento de la gráfica de conductividad eléctrica con respecto a la gráfica de sólidos disueltos es muy parecido debido a que están relacionados; se puede estimar el valor de conductividad con el de los sólidos disueltos de acuerdo con la siguiente ecuación:

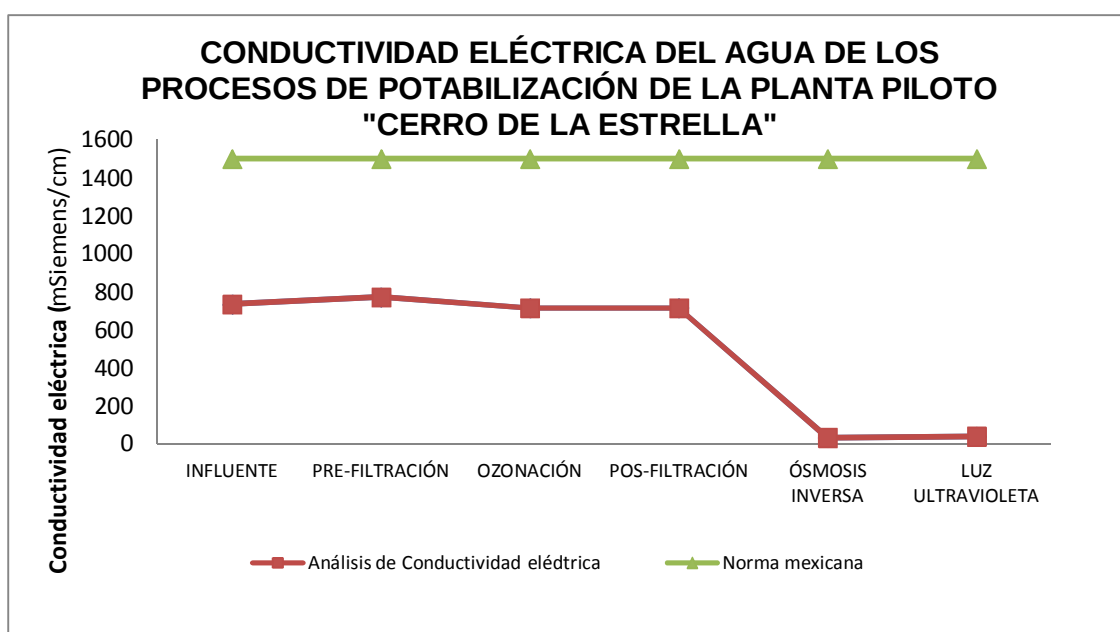
$$Kc = T$$

Donde: K = Conductividad expresada en μS

T = Sólidos Disueltos Totales

c = Coeficiente de correlación (establecido a una temperatura estándar)

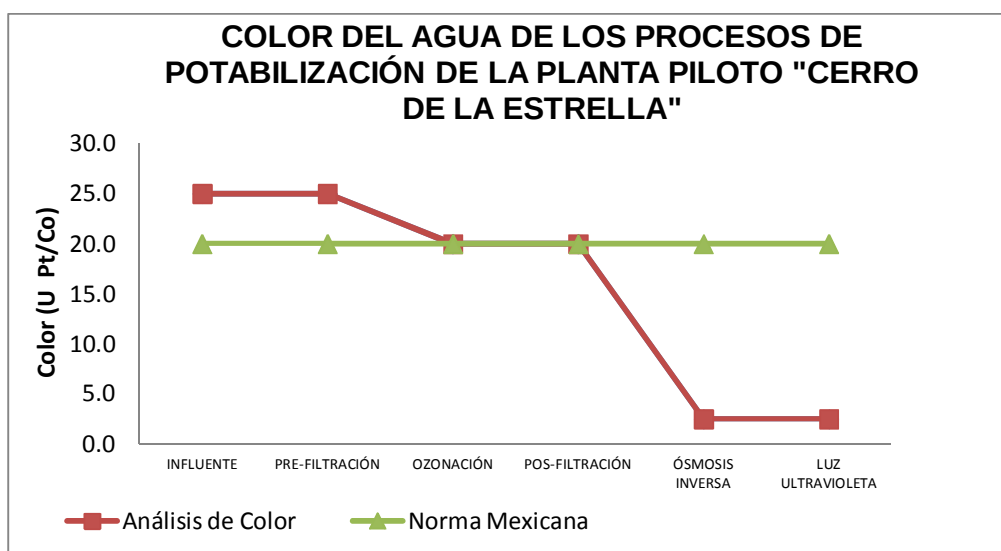
Como se puede observar los valores de conductividad que se registran para el efluente están por debajo de la norma mexicana así como el valor que maneja el agua potable para Estados Unidos (que es de 30 – 1500 Φ mhos/cm); la calidad del agua producida en la Planta Piloto “Cerro de la Estrella” está sujeta a un control de calidad por debajo los estándares de normatividad nacional así como internacional; por lo tanto esta agua puede ser empleada para la inyección directa al acuífero de la Ciudad de México debido a su potabilización.



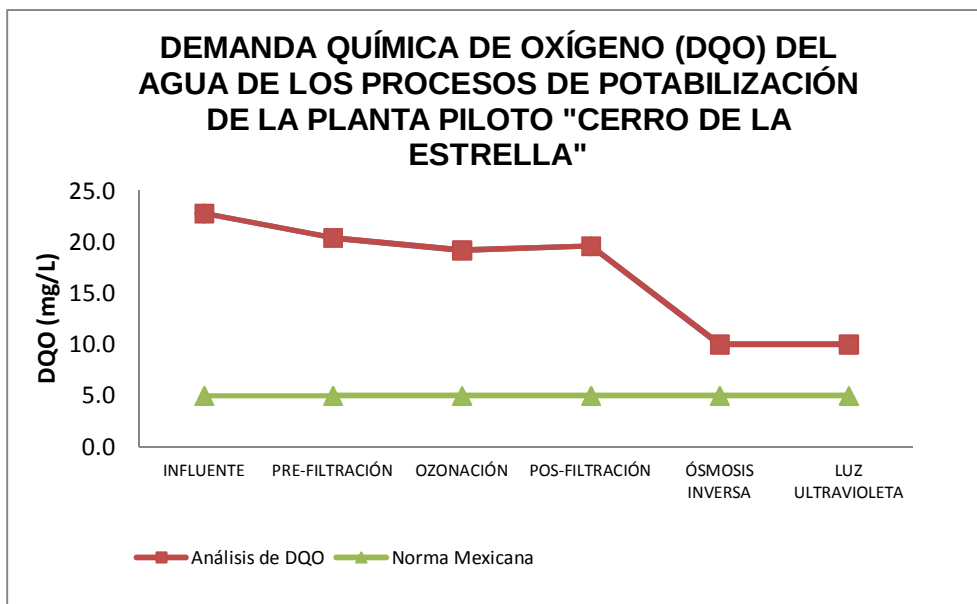
COLOR: El color es un indicador de sólidos disueltos en el agua, los sólidos pueden ser sustancia orgánica como: ligninas, taninos, etc., también inorgánica como: fierro y manganeso. El color le da una apariencia desagradable al agua de forma que al removerlo, no solo se quitan sustancias que pueden ser perjudiciales para el organismo, también se mejora el aspecto. El color en el agua puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o sustancias en suspensión (color aparente). El primero es el que se obtiene a partir de mediciones realizadas sobre muestras filtradas por membranas con tamaño de poro $\leq 0.45 \mu\text{m}$, mientras que el segundo proviene de las mediciones directas sobre muestras sin filtrar. La unidad de color adoptada internacionalmente como referencia, es la equivalente a una solución cloroplatinato de sodio que contenga 1 mg/L

de solución. La escala, para medición directa se extiende desde 1 hasta 500 mg/L de Pt. Esta forma de expresar el color se conoce como la “Escala de Hazen”, y se expresa en unidades Pt/Co, debido a que las soluciones de platino generalmente se les adicionan una pequeña cantidad de cloruro de cobalto, con el objetivo de intensificar el color y brillo de las soluciones cloro-platinato.

En la grafica se observa que el valor para el color en la salida del tren de proceso es de 15 U Pt/Co; valor que dentro de la normatividad mexicana es aceptada por la NOM-014-CONAGUA así como NOM-127SSA1-1999; como agua para la recarga del acuífero de la Cd. De México y agua para uso y consumo humano; dentro de la normatividad internacional esta agua cumple con estándares que manejan países como Guatemala (COGUANOR NGO 29 001) y Estados Unidos (EPA).



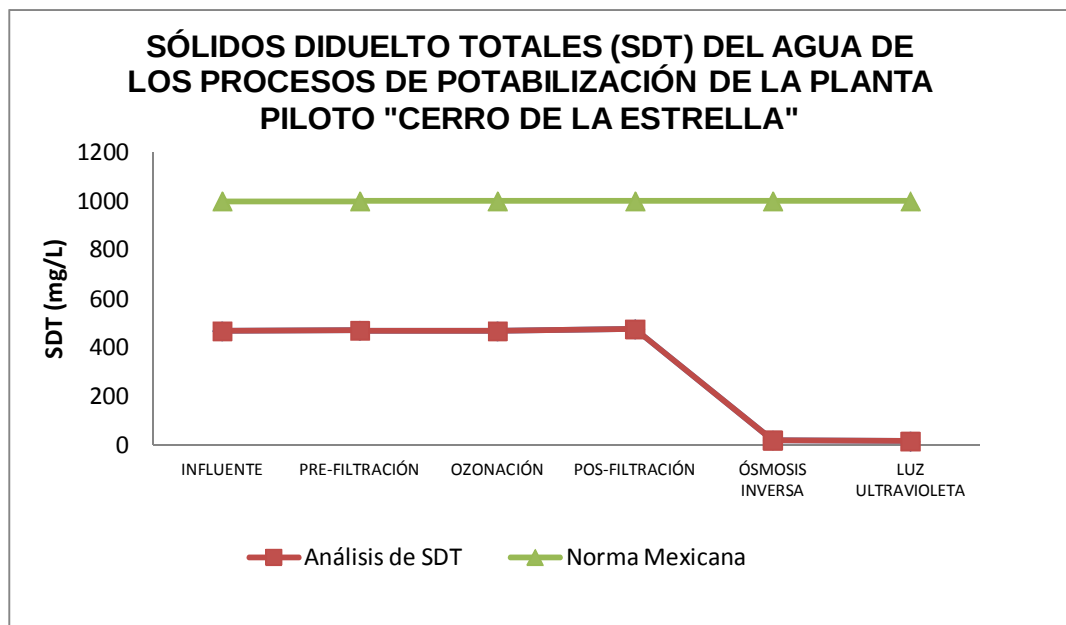
DQO(Demanda Química de Oxígeno): Los valores reportados en la gráfica nos indican la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) en el agua en las diferentes unidades del proceso que conforma el tren. Es una medida aproximada de la concentración de materia orgánica e inorgánica susceptible a oxidarse, de esta forma se puede tener una relación de la cantidad de oxidante necesario para disminuir la materia orgánica e inorgánica. Se tiene un criterio mediante el cual se busca se elimine el 95% de la materia orgánica e inorgánica.



SOLIDOS DISUELTOS TOTALES: Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón, se ha establecido un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable en los Estados Unidos. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas negras.

Para México la normatividad establece que el máximo permisible para TDS según la NOM-127-SSA-1994, debe de ser de 1000 mg/L; el agua de la salida del tren de proceso tiene un valor por debajo de la normatividad norteamericana y mexicana; el nivel de TDS es casi nulo; por lo tanto este cumple con lo establecido por la norma y es viable para agua de recarga del acuífero de la Cd. de México, así como agua de uso y consumo humano por sus bajos niveles de TDS.

Los valores reportados en la gráfica nos indican la concentración de los sólidos disueltos totales (SDT) en el agua en los diferentes procesos que conforman el tren. Los SDT en concentraciones mayores a 1000 mg/l pueden provocar problemas cardíacos, de tal forma se busca tener las concentraciones más bajas. En la gráfica se aprecia que la concentración es relativamente nula.

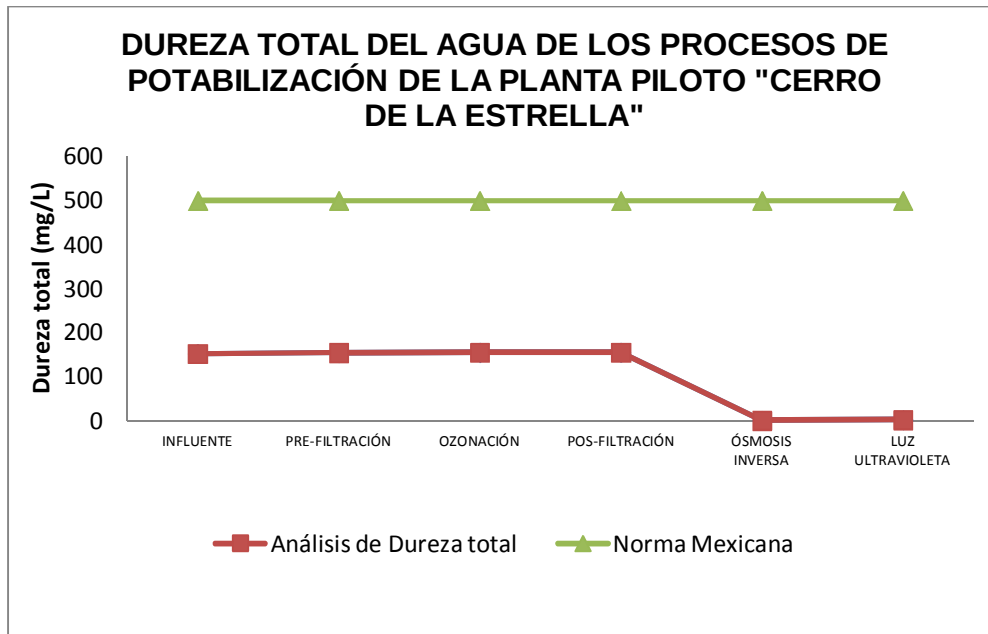


DUREZA TOTAL: La dureza es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio, pero principalmente, es debida a la presencia de iones de calcio y magnesio. Como se puede observar en las gráficas el valor de la dureza total está por debajo del establecido por la norma mexicana; esto se debe a que no hay presencia de calcio al final del tren de proceso; esto quiere decir que el agua no tiene dureza. (2° Foro Académico Nacional de Ingenierías y Arquitectura Morelia, Michoacán, México; 2006). Las normas internacionales, establecen como límite máximo permisible 300 mg/l de dureza. En México, la norma (NOM 127 SSA1 1994) establece como límite máximo permisible 500 mg/l. La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 250 mg/l de dureza. (2° Foro Académico Nacional de Ingenierías y Arquitectura Morelia, Michoacán, México; 2006).

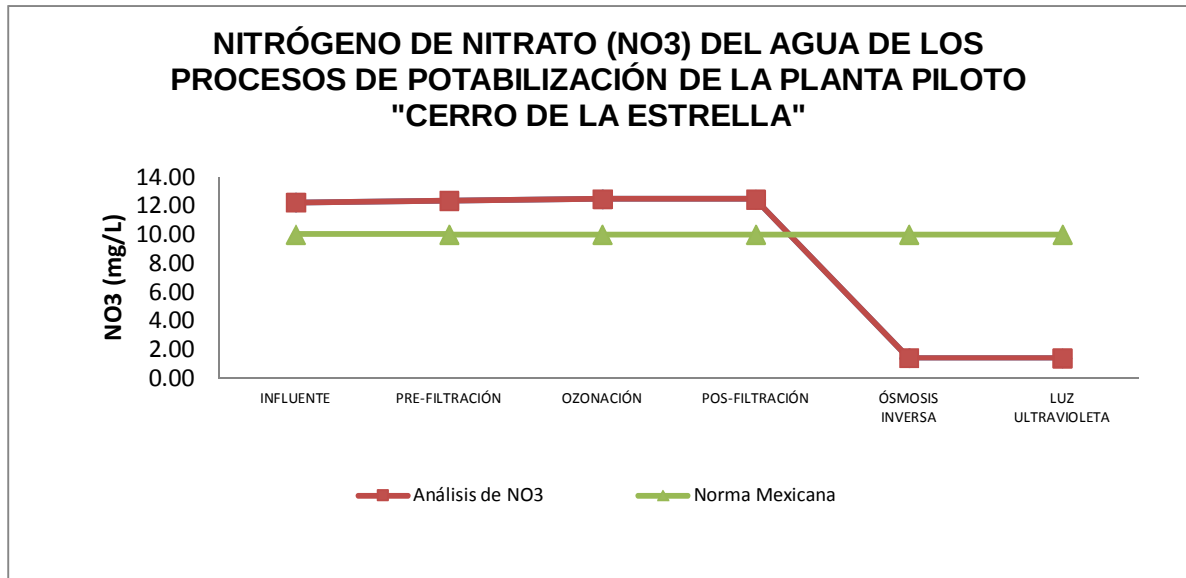
La dureza está conformada como sigue:

Dureza Total = Dureza de Calcio + Dureza de Magnesio (expresada como ppm de CO_3).

La dureza que se encontró en el Calcio fue de 0 mg/L; y la dureza de Magnesio fue de 2.51 mg/L; por lo tanto de acuerdo con nuestra fórmula podemos establecer que el valor de nuestra dureza total es de 2.51 mg/L; aún con este valor nos encontramos debajo de la norma mexicana que establece 500 mg/L y por algunas otras normas establecidas a nivel internacional.

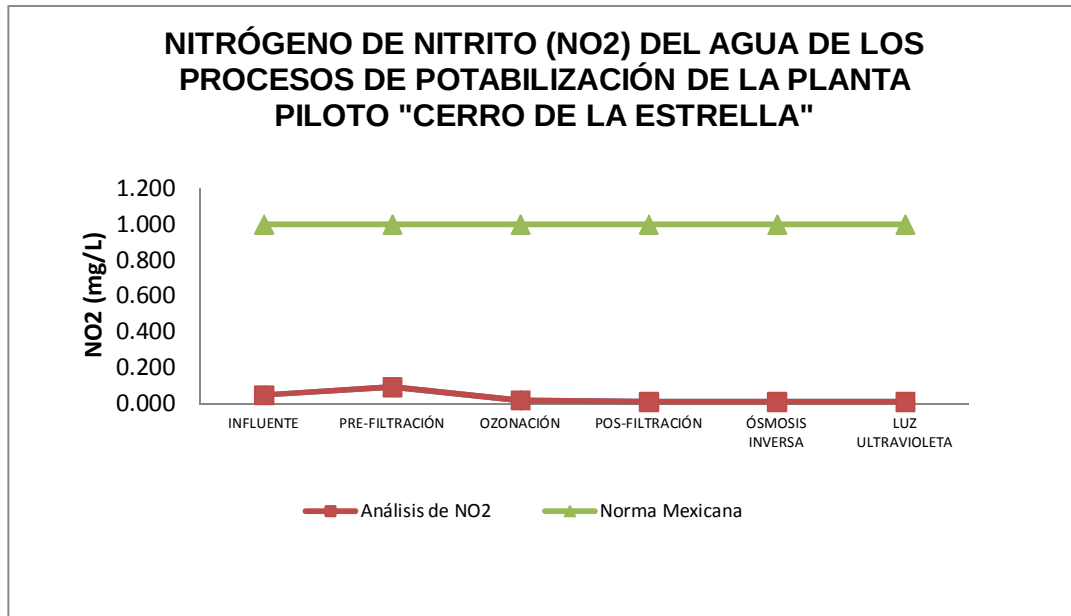


NITROGENO DE NITRATO: La concentración se debe mantener por debajo de la norma (NOM.127-SSA1-1994). Un buen tratamiento de agua que reduzca los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los nitratos del efluente final, debe ser tan eficaz, que los nutrientes son tan escasos que el agua no es apta para crecimiento microbiano (Brock, 2003); por lo tanto, como se puede observar en la gráfica la disminución de nutrientes indica que este proceso es confiable para que no se desarrolle un crecimiento de microorganismos; con esto se evita los daños causados por estos en el humano al ingerir agua con altas concentraciones de nitratos. Los niveles máximos permisibles establecidos por EUA para nitratos es de 45 mg/L; sin embargo para México la normatividad establece que el valor debe de ser de 10 mg/L; el valor que tenemos registrado en nuestra grafica es de 1.14 mg/L; lo cual nos dice que el agua cumple tanto para los estándares nacionales como internacionales en la potabilización de agua para uso y consumo humano; así como para recargar el acuífero de la Cd. De México.

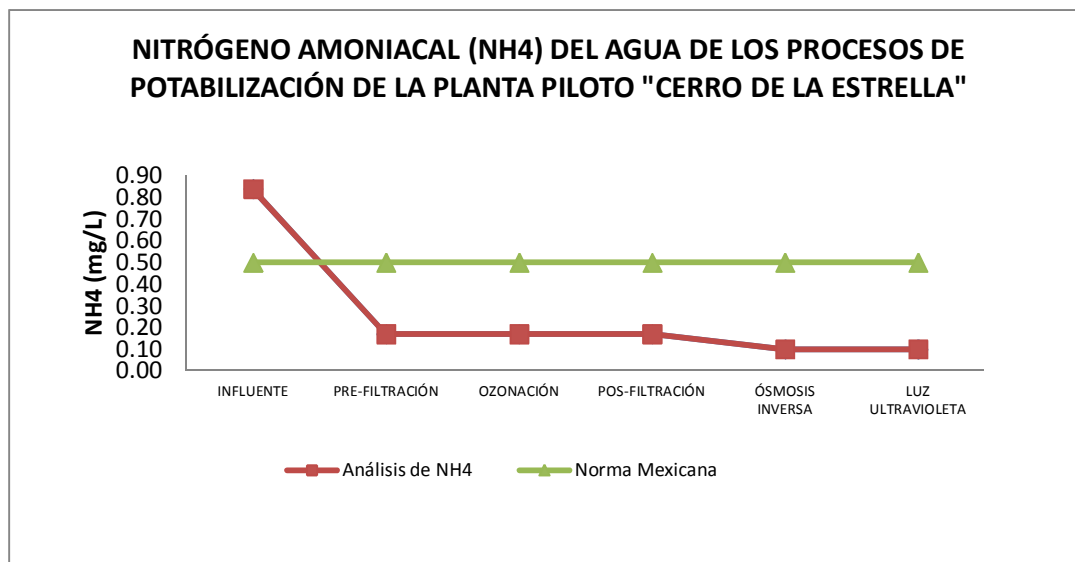


NITROGENO DE NITRITO: Los nitritos convierten a la hemoglobina de la sangre en metamoglobina, ésta reduce la cantidad de oxígeno que se transporta en la sangre. Por tal motivo la concentración se debe mantener por debajo de la norma (NOM-127_SSA1-1994) que debe ser de 1 mg/L; como se presenta en la gráfica los valores de nitritos están por debajo de la Normatividad, de esta forma que no se presentarán complicaciones al consumir el agua.

De acuerdo con los resultados obtenidos del tren de potabilización tenemos un valor final de 0.045 mg/L; valor que se encuentra debajo de la norma mexicana que es de 1 mg/L; cabe resaltar, que en base a los estudios ya mencionados anteriormente, no se encuentran posibles problemas de toxicidad con los bioensayos que se han efectuado en el organismo *Daphnia magna*.



NITROGENO AMONIAL: Los valores reportados en la gráfica nos indica la concentración de nitrógeno amoniacal en el agua en los diferentes procesos que conforman el tren. El nitrógeno amoniacal al reaccionar forma nitritos, estos tienen un gran impacto en la salud. Al mantener la concentración por debajo de la norma (NOM-127-SSA1-1994), se puede mantener una baja concentración de nitritos, y al no tener una concentración alta de nitritos nos dice que tampoco hay una alta concentración de NH₄; ya que están relacionados en una oxidación, cuando se oxida en Nitrógeno amoniacal se forma NO₂, como se había revisado anteriormente las concentraciones de nitritos se encuentran por debajo de la NOM-127-SSA1; como se puede apreciar en la gráfica las concentraciones de Nitrógeno amoniacal (NH₄) no exceden el nivel máximo permisible.



FIERRO: Los valores reportados en la gráfica nos indica la concentración de fierro en el agua en los diferentes procesos que conforman el tren de procesos, así como su disminución.

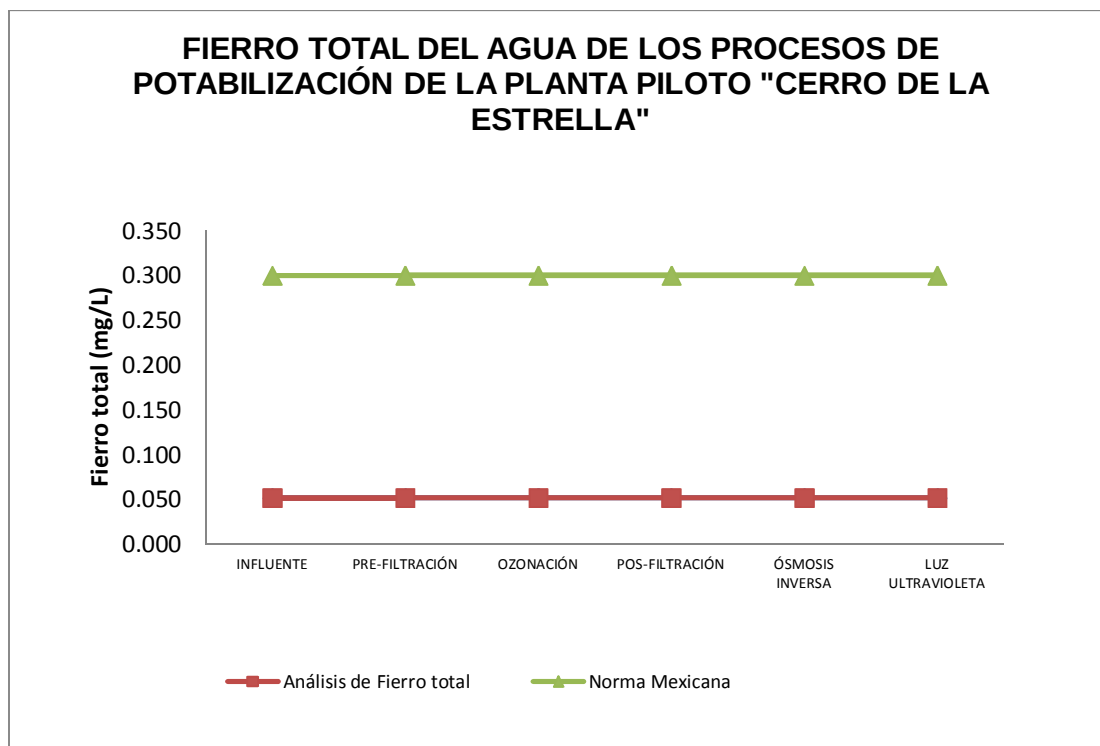
El fierro en ingestas elevadas (3400-17000 mg/día) es tóxico provocando lesiones hepáticas y pancreáticas, intoxicaciones agudas causan letargo, náuseas, pulso rápido, caída de presión sanguínea.

Pese a que el cuerpo tiene sofisticados mecanismos para absorber una cantidad normal de hierro, carece de otros para desechar el que se acumula en exceso. Cuando lo anterior sucede, el mineral irá invadiendo tejidos y órganos vitales, como hígado, glándulas endocrinas y el corazón, a los que dañará mediante el desarrollo de padecimientos como:

- Cirrosis hepática. Las células del hígado mueren poco a poco y se transforman en tejido de aspecto fibroso, con numerosas cicatrices y nudos que afectarán su funcionalidad; en casos extremos puede acelerar el desarrollo de cáncer.
- Crecimiento deficiente en niños. Además de generar desarrollo anormal de tejidos, huesos y dientes en infantes, si el hierro es depositado en la glándula pituitaria (se encuentra en la base del cerebro) puede ocasionar alteraciones, especialmente de maduración sexual.

Este tipo de enfermedades se pueden prever con el consumo moderado de este metal; la NOM-127-SSA1 establece un criterio de 0.3 mg/L para evitar estas, en el tren de procesos de la Planta Piloto se puede observar claramente la disminución de este, donde el valor

que se obtiene al final es de 0.05 mg/L, lo que permite que el agua sea para uso y consumo humano y en esta tesis para la recarga del acuífero de la Ciudad de México.



MANGANESO TOTAL: Los valores reportados en la gráfica nos indica la concentración de manganeso en el agua en los diferentes procesos que conforman el tren.

El manganeso puede producir perturbaciones mentales y emocionales, movimientos lentos y faltos de coordinación. También puede afectar el cerebro alterando los movimientos, esto se da cuando la ingesta diaria sobre pasa los 10 mg. El exceso de manganeso dificulta la regeneración de hemoglobina.

Por otra parte el manganeso le da cierto color al agua, lo que hace que su aspecto sea desagradable más que nocivo para la salud. Se busca que los niveles se encuentren por debajo de la norma (NOM-127-SSA1-1994).

Así como el humano puede ser afectado por el incremento en las concentraciones de manganeso, plantas y animales también lo son, los animales que comen muy poco manganeso interfiere en el crecimiento normal, la formación de huesos y en la reproducción.



Para algunos animales la dosis letal es bastante baja, lo cual significa que tienen pocas posibilidades de supervivencia incluso a pequeñas dosis de manganeso cuando este excede la dosis esencial. El Manganeso puede causar alteraciones en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales.

Cuando el Manganeso es tomado a través de la piel este puede causar temblores y fallos en la coordinación. Finalmente, las pruebas de laboratorio con animales han mostrado que diversos envenenamientos con Manganeso deberían incluso ser capaces de causar el desarrollo de tumores en animales.

En plantas los iones del Manganeso son transportados hacia las hojas después de ser tomados en el suelo. Cuando muy poco manganeso puede ser absorbido desde el suelo esto causa alteraciones en los mecanismos de las plantas. Problemas en la división del agua en hidrógeno y oxígeno, en lo cual el Manganeso juega un papel importante.

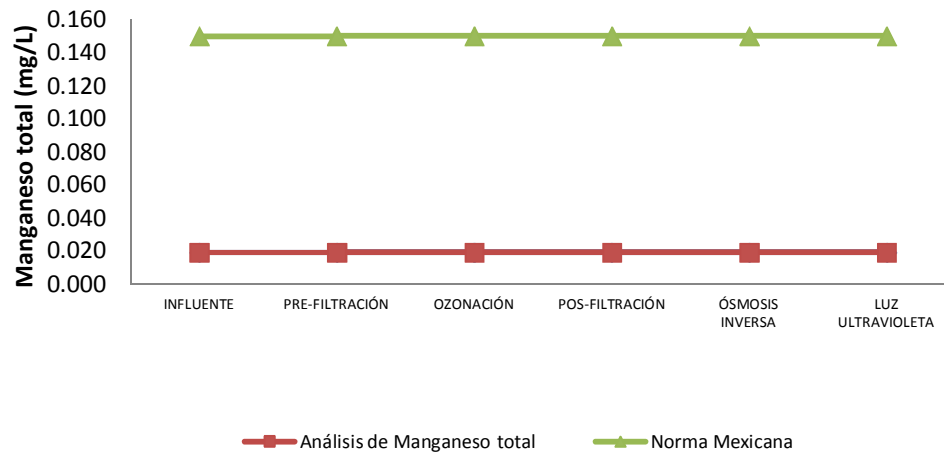
El Manganeso puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas. Cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de Manganeso son más comunes.

Concentraciones altamente tóxicas de Manganeso en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas. Las deficiencias puede también causar estos efectos entre concentraciones tóxicas y concentraciones que causan deficiencias una pequeña área de concentraciones donde el crecimiento de la planta es óptimo puede ser detectado.

Como se puede observar los problemas del manganeso afecta a diferentes organismos, es por esto que es vital que las concentraciones no excedan niveles tóxicos; y así tener previsto un impacto ambiental hacia los organismos del medio así como al hombre.

Es por esto que la Planta Piloto “Cerro de la Estrella” debe remover manganeso, para que los niveles estén dentro de los criterios de calidad para agua de uso y consumo humano, así como para la recarga del acuífero. El máximo permisible para las concentraciones de manganeso es de 0.15 mg/L; y la remoción de este es de 0.02 mg/L, lo cual beneficia tanto a la recarga del acuífero como al hombre y organismos del medio.

MANGANESO TOTAL DEL AGUA DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE LA PLANTA PILOTO "CERRO DE LA ESTRELLA"



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

GLOSARIO

Acuicludo: Se define como el estrato o formación geológica porosa y permeabilidad baja pero no nula, capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua, incluso hasta la saturación, pero no es capaz de transmitirla bajo gradientes hidráulicos comunes.

Acuífero: formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua susceptible de ser explotada en cantidades económicamente apreciables para atender diversas necesidades.

Acuífero: Se define como un estrato, formación o unidad geológica porosa y con poca permeabilidad pero no nula, capaz de almacenar y transmitir agua por medio de sus poros, grietas o fracturas.

Acuifugo: Se define como el estrato, unidad o formación geológica absolutamente impermeable, es decir, no tiene la capacidad de almacenar ni transmitir el agua.

Acuitardo: Se define como el estrato o formación geológica de baja permeabilidad pero no nula, la cual puede almacenar agua y transmitirla en pequeñas cantidades de una unidad acuífera a otra.

Artesianismo: Agua subterránea confinada entre dos capas impermeables, sometida a una presión hidráulica que la empuja hacia la superficie.

Azolve: Lodo o suciedad que obstruye un conducto de agua, Material arrastrado por las corrientes de agua de mar o de río hasta algún obstáculo natural, y que forma por ello un banco de arena o disminuye la profundidad de la superficie marina o fluvial.

Basaltos: Roca ígnea de grano fino y composición máfica, es decir, con un alto contenido de hierro. De color oscuro, es la roca más abundante en la corteza terrestre, formada por enfriamiento rápido del magma expulsado del manto por los volcanes

Cono Cinerítico: Es una montaña con laderas muy inclinadas, que se forman debido a la acumulación de partículas y lava mezclada con gases. En general son monogenéticos, alcanzan alturas entre 30 y 450m, sus magmas son de baja viscosidad. Uno de los conos cineríticos más recientes, es el volcán Parícutín, que construyó un cono con una altura de 424m y produjo un flujo de lava que cubrió 25km².

Efluente terciario: El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento.

Formación Mezcala: (Cretácico Superior). Está constituida por capas interestratificadas de areniscas, limolitas y lutitas calcáreas, con escasos lentes de calizas clásticas. Se

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ubica descansando sobre la formación Cuautla y está cubierta a su vez por depósitos aluviales.

Formación Morelos: (Cretácico Inferior). Se ubica en el flanco oriental del anticlinal Barriga de Plata, entre la sierra de Tepoztlán y los conos cineríticos Las Tetillas. Es una sucesión de calizas y dolomitas con intercalación de capas delgadas de pedernal.

Formación Tepoztlán:(Mioceno). Situada en la porción central del área. Está formada por capas vulcano clásticas integradas por lahares de composición andesítica. Corresponde a la sierra de Tepoztlán, cuya formación es en extremo característica.

Gradiente Hidráulico: Es la pérdida de carga hidráulica por unidad de distancia de flujo. La presión intergranular en la masa de un suelo sin cohesión se reduce a cero por la corriente del agua hacia arriba.

Materiales granulares:Son fragmentos de roca producidos por acciones erosivas. Su tamaño y forma depende de la calidad de la roca madre de donde se originaron, del grado de meteorización y del desgaste que haya sufrido durante el transporte. Se encuentran en sitios muy variados en la superficie terrestre. Se localiza en los depósitos glaciares, los fondos de los valles, acumulaciones volcánicas, las brechas de falla, los lechos de los ríos, lagos y mares.

Piezómetro: El tubo piezométrico es, como su nombre indica, un tubo en el que, estando conectado por uno de los lados a un recipiente en el cual se encuentra un fluido, el nivel se eleva hasta una altura equivalente a la presión del fluido en el punto de conexión u orificio piezométrico, es decir hasta el nivel de carga del mismo.

Piroclásticos:Se llama piroclastos (del griego πῦρ "fuego" y κλαστός "roto") a cualquier fragmento sólido de material volcánico arrojado al aire durante una erupción. Petrologicamente los piroclastos son fragmentos de ígnea volcánica solidificados en algún momento de la erupción, lo más a menudo durante su recorrido aéreo. En sentido estricto, el término alude a un determinado tamaño de fragmento; se distingue así, por ejemplo, una bomba volcánica de un piroclasto (en sentido estricto), aún cuando en sentido amplio una bomba volcánica tiene carácter piroclástico.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Conclusiones:

- La normatividad mexicana (NOM-127-SSA-1-1994) establece que el límite permisible de pH en el agua de uso y consumo humano se encuentra entre 6.5-8.5; el agua que produce la Planta Piloto fluctúa en valores por encima de pH 6.
- La turbidez es uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad del agua potable. La Organización Mundial de la Salud indica un valor de referencia de turbidez de 5 FTU (UTN) para el agua potable. El efluente presenta un valor de turbidez < 1 UTN; por lo tanto se encuentra por debajo de la norma mexicana.
- La conductividad se encuentra por debajo de la norma mexicana.
- Se observa que el valor para el color en cada uno de los procesos va en declive, a la salida es de 15 U Pt/Co; valor que dentro de la normatividad mexicana es aceptada por la NOM-014-CONAGUA así como NOM-127SSA1-1999.
- Los (SDT) se encuentra dentro de la normatividad que establece un máximo permisible para TDS según la NOM-127-SSA-1994, debe de ser de 1000 mg/L; el agua del tren de proceso cumple con ello.
- La Dureza Total está por debajo de la norma.
- Se observa que el Nitrógeno de Nitrato a pesar que no tiene variaciones en los primeros procesos, finalmente como efluente se encuentra por debajo de la norma (NOM.127-SSA1-1994).
- La presencia de Nitritos no sufre variaciones bruscas y finalmente en valor final se encuentra debajo por debajo de la norma mexicana.
- Los valores obtenidos de Nitrógeno Amoniacal se encuentran por debajo de la norma, esto permite mantener una baja concentración de nitritos.
- En el fierro total no se presenta mucha variación.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

BIBLIOGRAFÍA

1. Estudio para diseñar las estructuras de inyección de un m³ de agua proveniente de las plantas de tratamiento. Autor Supervisora CAMOSA, S.A de C.V. Descripción 2008, C 0327-10-IR-DT-1-08. Coloración 3.3.0-8809-S884-e
2. Análisis de propuesta para el saneamiento integral de la cuenca del Valle de México, para ser integrada en el informe técnico del consejo de cuenca. Autor ITSMO Consultores, S.A. de C.V. Descripción 2000. C O-07-CO-04-1-0981 Coloración 6.2.O 7748-1685-a
3. Balance Geohidrológico y recarga artificial en la zona metropolitana de la ciudad de México. Autor Lesser y Asociados S.A. de C.V. Descripción 1995 C. 5-III-1 0415 Coloración 6.2.O.-5912-L173-b.
4. Estudio de condiciones y conservaciones del suelo agua y recarga del acuífero en la zona poniente de la ciudad de México. Autor Consultores en Geología, S.A de C.V. Descripción 1996. C.6-33-1-0229 Coloración 6.2.O-4034-C239-e.
5. Estudio de los recursos de agua subterránea disponibles en la región sureste del valle de México. Descripción 1995 Coloración 6.2.O-2351-1233-e.
6. Estudio para obtener la disponibilidad del acuífero de la zona metropolitana de la ciudad de México. Autor Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Descripción 2005. C.06-CD-03-10-0267-1 05. Coloración 6.2. O-8621-1654-e.
7. Instituto Nacional De Estadística, Geografía E Informática, Inegi Marzo 2006
8. Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México Dic-2007.
9. "Balance Geohidrológico Y Recarga Artificial En La Zona Metropolitana De La Ciudad De México" (NOV-1995).
10. "Sistema De Captación Pluvial Y Recarga Del Acuífero En Varias Delegaciones; Así Como Estudio Para Determinar La Potencialidad De Usuarios Dentro De La Zona De Influencia Dentro De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales". (Dic-2007.)
11. CONAGUA "Cortez Pérez M.A. (1999) el hundimiento del suelo de la ciudad de México". Hidráulica urbana.
12. "Sistema De Captación Pluvial Y Recarga Del Acuífero En Varias Delegaciones; Así Como Estudio Para Determinar La Potencialidad De Usuarios Dentro De La Zona De Influencia Dentro De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales". (DIC-2007.)

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

13. "Balance Geohidrológico Y Recarga Artificial En La Zona Metropolitana De La Ciudad De México" (NOV-1995).
14. Instituto Nacional De Estadística, Geografía E Informática; INEGI. (Marzo De 2008)
15. CONAGUA, Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2004.
16. "Estudio Para Definir Un Programa Para Uso De Agua Residual Tratada A Través De La Re Potabilización". (Dic.-1999)
17. Instituto Nacional De Estadística, Geografía E Informática; INEGI. (MARZO DE 2008)
18. <http://www.conagua.gob.mx/ocavm/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=b861a483-e77d-4985-bd40-6bc23cf90530|Acerca%20de%20la%20Cuenca|0|6|0|0|0>
19. "Estudio para evaluar el impacto de la recarga artificial del acuífero con agua residual tratada" Subdirección de desarrollo tecnológico, septiembre 1998, Lesser y asociados S. A. de C.V.
20. Programa de Saneamiento y Recuperación de los Acuíferos del Valle de México, CONAGUA (, 2001).
21. Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, (1993); INEGI, (1991a.)
22. SECTRA, Subdirección General de Administración del Agua, CONAGUA
23. "Estudios experimentales para la recarga artificial en el acuífero", Tecnología ambiental S.A de C.V., (1997)
24. "Proyecto de rehabilitación de la planta piloto para experimentación de la recarga del acuífero", GIMA S.A de C.V. (2003)
25. "Estudios experimentales para el tratamiento de agua residual y revisión de la calidad del agua obtenida en función de los usos potenciales", Tecno adecuación ambiental S.A. de C.V., (1997)
26. "Operación de un modulo experimental de recarga artificial, alimentado con agua tratada, elaborado para el departamento del distrito federal" (1992)
27. "Experimentación sobre recarga artificial para evitar contaminación de acuíferos, elaborado para el departamento del distrito federal" (1991.)
28. "Experimentación para conocer los efectos de la recarga artificial sobre el pozo SC-6, previniendo la contaminación del acuífero, elaborado por el departamento del distrito federal" (1990)
29. "Medición de los niveles estáticos de pozos pilotos en el valle de México", Asteroide Ingeniería. S.A de C.V. Diciembre (2005.)

ANEXO I

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Laboratorio para la Vigilancia de Calidad de Agua

INFLUENTE PARAMETRO FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
TEMPERATURA	°c		21.0	25.5	16.1	20.8	20.3	2.242	1.497	1.162	16.1	20.05	20.8	21.8	25.5	0.72	0.30
pH	U pH	6.5 - 8.5	6.7	7.3	6.2	6.7	6.7	0.029	0.171	0.131	6.229	6.59	6.677	6.7805	7.329	1.03	0.61
TURBIEDAD	UTN	5	2.5	11.6	0.2	2.0	2.0	2.054	1.433	0.918	0.23	1.70	2	2.9	11.6	14.25	3.16
CONDUCTIVIDAD	mSiemens/cm	*	593.9	753.0	6.3	612.0	618.0	6721.867	81.987	54.536	6.28	572.00	612	637	753	17.42	-2.85
COLOR	U Pt/Co	20	68.1	348.0	24.0	61.0	61.0	1384.335	37.207	19.792	24	50.50	61	75	348	31.44	4.88
ALC. TOTAL	mg/l	*	163.5	219.3	97.2	166.9	184.0	491.664	22.174	17.169	97.22	153.16	166.88	179.775	219.27	0.74	-0.66
DQO	mg/l	*	25.5	53.5	9.0	22.2	18.0	89.133	9.441	7.682	9	18.00	22.22	31.2	53.47	0.38	0.90
SÓLIDOS DIS. TOTALES	mg/l	1000	323.7	407.0	218.0	331.0	339.0	1309.685	36.190	27.440	218	309.00	331	345	407	0.44	-0.70
DUREZA TOTAL	mg/l	500	164.0	200.6	115.2	165.2	143.9	267.319	16.350	12.279	115.19	156.65	165.23	174.585	200.61	0.72	-0.58
DUREZA DE CALCIO	mg/l	*	84.6	149.8	60.1	81.4	79.7	274.097	16.556	11.384	60.09	74.95	81.4	88.88	149.81	4.43	1.85
DUREZA DE MAGNESIO	mg/l	*	79.5	115.1	1.7	83.3	65.6	399.513	19.988	14.596	1.7	70.04	83.31	92.315	115.05	3.14	-1.39
NITRÓGENO DE NITRATO	mg/l	10	5.3	9.5	0.2	5.1	5.3	3.563	1.888	1.397	0.23	4.30	5.1	6.325	9.5	0.99	-0.10
NITRÓGENO DE NITRITO	mg/l	1	0.1	0.6	0.004	0.030	0.030	0.012	0.109	0.069	0.004	0.01	0.03	0.056	0.616	9.04	2.91
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg/l	0.5	0.5	7.3	0.01	0.3	0.2	0.547	0.739	0.377	0.01	0.21	0.29	0.4175	7.25	50.03	6.10
ÁCIDO SULFÚDRICO	mg/l	*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
SULFUROS	mg/l		0.012	0.210	0.00	0.010	0.010	3.868E-04	0.020	0.007	0.000	0.007	0.010	0.013	0.210	78.164	8.118
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/l	*	8.2	15.3	0.0	8.3	7.4	5.786	2.405	1.723	0	6.80	8.275	9.55	15.3	2.28	-0.16

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

INFLUENTE PARAMETRO METALES

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA Y/O CRITERIO	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
FERRO TOTAL	mg/l	0.3	0.1	0.7	0.0	0.1	0.1	0.014	0.120	0.080	0	0.06	0.11	0.17	0.7	6.70	2.27
MANGANESO TOTAL	mg/l	0.15	0.2	0.9	0.0	0.1	0.0	0.054	0.233	0.190	0	0.00	0.1	0.375	0.9	0.48	1.11

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PRE-FILTRACIÓN PARAMETRO FISICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
TEMPERATURA	°C		20.9	23.9	16.0	20.7	20.6	1.980	1.407	1.121	16	19.93	20.7	21.7	23.9	0.28	-0.15
pH	U pH	6.5 - 8.5	6.7	7.2	6.3	6.6	6.5	0.033	0.183	0.141	6.275	6.55	6.6475	6.7815	7.24	0.85	0.88
TURBIEDAD	UTN	5	0.9	6.6	0.4	0.8	0.9	0.350	0.592	0.240	0.4	0.60	0.8	0.9	6.6	75.72	7.99
CONDUCTIVIDAD	mSiemens/cm	*	604.9	739.0	408.0	613.0	593.0	3670.243	60.583	43.618	408	585.00	613	637	739	1.15	-0.85
COLOR	U Pt/Co	20	40.3	216.0	20.0	37.0	40.0	398.999	19.975	10.510	20	30.00	37	45.5	216	51.07	6.05
ALC. TOTAL	mg/l	*	162.0	199.9	97.2	168.1	182.7	466.828	21.606	16.986	97.22	151.12	168.14	178.13	199.91	0.85	-1.07
SÓLIDOS DIS. TOTALES	mg/l	1000	327.1	402.0	219.0	331.0	339.0	1118.397	33.442	24.072	219	316.00	331	345	402	1.10	-0.81
DUREZA TOTAL	mg/l	500	160.8	196.4	109.2	162.6	139.2	243.652	15.609	11.687	109.18	154.19	162.6	170.2	196.42	0.82	-0.67
DUREZA DE CALCIO	mg/l	*	81.3	143.8	52.1	76.9	75.3	320.276	17.896	12.388	52.05	70.70	76.9	87.28	143.83	3.80	1.84
DUREZA DE MAGNESIO	mg/l	*	79.6	108.7	2.5	84.5	88.9	381.733	19.538	13.769	2.54	72.58	84.5	90.9	108.72	4.42	-1.84
NITRÓGENO DE NITRATO	mg/l	10	4.8	9.4	0.3	4.8	4.8	2.477	1.574	1.111	0.25	4.03	4.8	5.7	9.4	2.34	-0.45
NITRÓGENO DE NITRITO	mg/l	1	0.1	1.0	0.009	0.034	0.023	0.022	0.148	0.087	0.009	0.02	0.034	0.091	0.95	16.66	3.70
NITRÓGENO AMONICAL	mg/l	0.5	0.4	6.5	0.00	0.2	0.2	0.470	0.686	0.296	0	0.19	0.23	0.3025	6.5	53.97	6.60
ÁCIDO SULFÚDRICO	mg/l	*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
SULFUROS	mg/l		0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	3.993E-06	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	22.377	4.758

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PRE-FILTRACIÓN PARAMETRO METALES

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA Y/O CRITERIO	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
FERRO TOTAL	mg/l	0.3	0.1	0.7	0.0	0.1	0.0	0.008	0.092	0.055	0	0.02	0.06	0.09	0.7	25.42	4.14
MANGANESO TOTAL	mg/l	0.15	0.2	0.8	0.0	0.1	0.0	0.035	0.186	0.154	0	0.00	0.1	0.3	0.8	1.19	1.20

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

OZONACIÓN PARAMETRO FISICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
TEMPERATURA	°c		21.1	34.0	17.9	20.9	20.6	3.457	1.859	1.222	17.9	20.10	20.9	22	34	21.50	3.20
pH	U pH	6.5 - 8.5	6.9	7.4	6.5	6.9	6.6	0.034	0.186	0.145	6.457	6.83	6.931	7.0395	7.363	-0.03	-0.19
TURBIEDAD	UTN	5	0.9	6.5	0.4	0.8	0.6	0.383	0.619	0.256	0.4	0.60	0.8	0.9	6.5	66.39	7.47
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	*	602.5	738.0	408.0	607.0	606.0	4074.551	63.832	46.504	408	583.00	607	639	738	0.73	-0.76
COLOR	U Pt/Co	20	35.9	201.0	17.0	32.0	25.0	373.380	19.323	10.088	17	27.00	32	40.75	201	51.08	6.15
ALC. TOTAL	mg/l	*	159.9	200.4	88.3	166.0	159.1	562.968	23.727	18.938	88.27	148.84	165.97	178.215	200.44	0.38	-0.95
SÓLIDOS DIS. TOTALES	mg/l	1000	325.8	401.0	219.0	328.0	328.0	1240.297	35.218	25.688	219	315.00	328	346	401	0.71	-0.74
DUREZA TOTAL	mg/l	500	159.1	191.7	107.5	161.4	163.8	288.450	16.984	13.107	107.49	149.08	161.4	170.25	191.71	0.26	-0.57
DUREZA DE CALCIO	mg/l	*	79.5	140.9	53.2	73.6	71.7	322.464	17.957	12.649	53.22	69.15	73.63	85.385	140.92	3.71	1.87
DUREZA DE MAGNESIO	mg/l	*	79.7	112.0	8.8	84.5	58.8	447.473	21.154	15.309	8.8	71.73	84.5	93.08	112.01	2.95	-1.58
NITRÓGENO DE NITRATO	mg/l	10	4.7	7.4	0.0	4.9	4.7	2.206	1.485	1.058	0	4.08	4.85	5.525	7.4	2.46	-1.06
NITRÓGENO DE NITRITO	mg/l	1	0.1	0.9	0.004	0.027	0.023	0.019	0.139	0.078	0.004	0.02	0.027	0.0745	0.914	19.98	4.06
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg/l	0.5	0.4	6.8	0.01	0.2	0.2	0.487	0.698	0.256	0.01	0.17	0.22	0.29	6.75	68.10	7.70
ÁCIDO SULFÚDRICO	mg/l	*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
SULFUROS	mg/l		0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	3.786E-06	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	41.034	6.288

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

OZONACIÓN PARAMETRO METALES

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA Y/O CRITERIO	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
FERRO TOTAL	mg/l	0.3	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.014	0.119	0.069	0	0.00	0.04	0.085	0.7	18.54	3.92
MANGANESO TOTAL	mg/l	0.15	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.039	0.198	0.139	0	0.00	0	0.2	0.9	5.78	2.33

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

POS-FILTRACIÓN PARAMETRO FISICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
TEMPERATURA	°C		20.2	24.8	15.7	20.2	19.4	3.337	1.827	1.446	15.7	19.00	20.2	21.4	24.8	-0.12	-0.12
pH	U pH	6.5 - 8.5	6.9	7.6	6.3	6.9	6.7	0.040	0.200	0.145	6.341	6.74	6.8535	6.95875	7.601	1.64	0.55
TURBIEDAD	UTN	5	0.5	4.5	0.1	0.4	0.4	0.282	0.531	0.235	0.07	0.40	0.4	0.6	4.5	34.43	5.52
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	*	591.6	716.0	409.0	597.0	597.0	3201.725	56.584	40.218	409	568.00	597	618	716	1.16	-0.45
COLOR	U Pt/Co	20	30.4	191.0	9.0	28.0	24.0	388.627	19.714	9.937	9	21.50	28	35	191	41.30	5.60
ALC. TOTAL	mg/l	*	158.3	196.0	91.5	164.8	174.0	540.126	23.241	18.021	91.53	150.10	164.75	173.97	196.03	0.58	-1.14
DQO	mg/l	*	17.4	30	10	17.2	18	12.65	3.56	2.49	10	15.6	17.2	18.8	30	2.73	0.82
SÓLIDOS DIS. TOTALES	mg/l	1000	319.9	388.0	220.0	323.0	323.0	974.886	31.223	22.264	220	307.00	323	335	388	1.11	-0.43
DUREZA TOTAL	mg/l	500	158.8	199.0	118.0	160.3	137.5	252.938	15.904	11.900	118	150.09	160.305	168.45	198.97	0.37	-0.38
DUREZA DE CALCIO	mg/l	*	77.7	135.4	52.0	74.5	66.0	239.541	15.477	11.037	52.01	68.81	74.525	83.815	135.42	3.57	1.70
DUREZA DE MAGNESIO	mg/l	*	81.2	108.8	15.7	85.9	15.7	333.836	18.271	13.337	15.66	74.44	85.925	92.56	108.82	3.27	-1.61
NITRÓGENO DE NITRATO	mg/l	10	3.7	9.3	0.0	4.2	0.9	5.267	2.295	1.883	0	1.00	4.2	5.2	9.3	-0.55	0.06
NITRÓGENO DE NITRITO	mg/l	1	0.0	0.8	0.000	0.012	0.006	0.012	0.111	0.053	0	0.01	0.012	0.02	0.766	26.74	4.86
NITRÓGENO AMONIACAL	mg/l	0.5	0.3	7.8	0.00	0.2	0.2	0.596	0.772	0.244	0	0.14	0.185	0.2225	7.75	75.84	8.29
ÁCIDO SULFÚDRICO	mg/l	*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
SULFUROS	mg/l		0.001	0.026	0.000	0.000	0.000	9.884E-06	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	47.480	6.658

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

POS-FILTRACIÓN PARAMETRO METALES

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA Y/O CRITERIO	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
FERRO TOTAL	mg/l	0.3	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.011	0.106	0.059	0	0.00	0.014	0.06	0.7	20.37	4.14
MANGANESO TOTAL	mg/l	0.15	0.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.030	0.173	0.111	0	0.00	0	0.15	1.1	16.09	3.48

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EFLUENTE PARAMETRO FISICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
TEMPERATURA	°c		21.3	25.0	16.1	21.1	20.5	1.951	1.397	1.104	16.1	20.35	21.1	22.3	25	0.56	-0.13
pH	U pH	6.5 - 8.5	5.5	7.1	4.6	5.5	5.0	0.214	0.463	0.361	4.638	5.15	5.5015	5.73425	7.056	0.90	0.69
TURBIEDAD	UTN	5	0.1	0.3	0.0	0.1	0.1	0.002	0.044	0.025	0	0.10	0.1	0.1	0.3	5.31	1.43
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	*	45.2	213.0	12.9	31.3	23.1	828.765	28.788	22.642	12.87	23.30	31.3	64.4	213	11.05	2.42
COLOR	U Pt/Co	20	0.7	34.4	0.0	0.0	0.0	10.079	3.175	1.196	0	0.00	0	0	34.4	91.02	8.86
ALC. TOTAL	mg/l	*	17.0	49.9	0.0	16.3	0.0	58.233	7.631	5.957	0	11.80	16.3	22.47	49.94	2.92	0.65
DQO	mg/l	*	0.8	11.8	0.0	0.0	0.0	3.930	1.982	1.220	0	0.00	0	0.575	11.8	15.57	3.62
SÓLIDOS DIS. TOTALES	mg/l	1000	25.6	314.0	6.4	16.3	11.7	816.560	28.576	14.136	6.4	12.00	16.3	33.7	314	73.12	7.55
DUREZA TOTAL	mg/l	500	9.4	77.8	0.0	8.0	0.0	152.024	12.330	8.633	0	0.00	7.97	14.045	77.77	8.44	2.36
DUREZA DE CALCIO	mg/l	*	4.7	36.9	0.0	0.0	0.0	41.061	6.408	5.002	0	0.00	0	8.01	36.9	5.07	1.89
DUREZA DE MAGNESIO	mg/l	*	4.9	40.9	0.0	1.6	0.0	49.619	7.044	5.251	0	0.00	1.57	8.095	40.87	6.24	2.16
NITRÓGENO DE NITRATO	mg/l	10	1.1	3.5	0.0	1.0	0.8	0.517	0.719	0.576	0	0.65	1	1.6	3.5	0.26	0.55
NITRÓGENO DE NITRITO	mg/l	1	0.0	0.2	0.000	0.006	0.004	0.001	0.023	0.009	0	0.00	0.006	0.01	0.2	55.69	7.04
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg/l	0.5	0.0	0.7	0.00	0.0	0.0	0.005	0.073	0.031	0	0.00	0	0.02	0.7	56.69	6.91
ÁCIDO SULFÚDRICO	mg/l	*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
SULFUROS	mg/l		0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	1.548E-06	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	47.020	6.650
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/l	*	1.3	3.8	0.0	1.2	0.0	0.813	0.902	0.715	0	0.60	1.2	2	3.75	-0.20	0.53

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EFLUENTE PARAMETRO METALES

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA Y/O CRITERIO	MEDIA	VALOR MAX	VALOR MÍNIMO	MEDIANA	MODA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PROMEDIO	CUARTIL 0 (V. MÍNIMO)	CUARTIL 1 (PERCENTIL 25%)	CUARTIL 2 (V. MEDIANA)	CUARTIL 3 (PERCENTIL 75%)	CUARTIL 4 (V. MÁXIMO)	CUARTOSIS	COEFICIENTE ASIMETRÍA
FERRO TOTAL	mg/l	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.002	0.045	0.025	0	0.00	0	0.02	0.3	18.28	3.95
MANGANESO TOTAL	mg/l	0.15	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.014	0.120	0.089	0	0.00	0	0.1	0.7	7.57	2.42

